



Vliv teploty na tepelné ztráty textilií

Diplomová práce

Studijní program: N3957 – Průmyslové inženýrství
Studijní obor: 3901T073 – Produktové inženýrství
Autor práce: **Bc. Tomáš Kubeček**
Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering



Influence of temperature on thermal loss of textiles

Diploma thesis

Study programme: N3957 – Industrial Engineering

Study branch: 3901T073 – Product Engineering

Author: **Bc. Tomáš Kubeček**

Supervisor: doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Tomáš Kubeček
Osobní číslo: T13000104
Studijní program: N3957 Průmyslové inženýrství
Studijní obor: Produktové inženýrství
Název tématu: Vliv teploty na tepelné ztráty textilií
Zadávající katedra: Katedra hodnocení textilií

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Vypracujte rešerši na téma přenos tepla v textiliích.
2. Navrhněte konstrukci přístroje pro hodnocení celkové tepelně izolační schopnosti plošných textilií zohledňující přenos tepla základními způsoby.
3. Proveďte experimenty s přímým kontaktem zaměřené na určení tepelných ztrát pro škálu jednoduchých a vrstvených textilních struktur.
4. Proveďte měření se vzduchovou štěrbinou mezi ohřevným elementem a měřenou strukturou se zaměřením na vyjádření celkové izolační účinnosti.
5. Na základě získaných poznatků navrhněte další postup pro měření celkové termoizolační schopnosti textilií určených pro extrémně nízké teploty.





Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

50 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1] Křemenáková, D., Militký, J., Mistra, R.: Progress in Fibrous Material Science. Published by O.P.S. Kanina, Liberec, 2014. ISBN 978-80-87 269-40-4.
- [2] Křemenáková, D., Militký, J., Šesták, J.: Vláknenné struktury pro speciální aplikace. 1. vyd., O.P.S. Kanina, Liberec, 2013. ISBN 978-80-87 269-32-9.
- [3] Křemenáková, D., Militký, J. Zhu, G.: Prediction of Textile Structures. Thermal Insulation. International Symposium on Fiber Science and Technology 2014 (ISF 2014) Tokyo Japan.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková

Katedra materiálového inženýrství

Konzultant diplomové práce:

prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

24. ledna 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

8. ledna 2016

Ing. Jana Drašková, Ph.D.
děkanka



doc. Ing. Vladimír Bajžák, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 18. prosince 2015



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vzta-huje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tom-to případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elek-tronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:



Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí mé diplomové práce doc. Dr. Ing. Daně Křemenákové z Katedry materiálového inženýrství Technické univerzity v Liberci za cenné rady, připomínky, trpělivost a ochotu při vedení mé závěrečné práce. Dále bych rád poděkoval konzultantovi mé diplomové práce prof. Ing. Jakubu Wienerovi, Ph.D za pomoc s konstrukcí nového měřicího zařízení, též za cenné rady a připomínky.

Ještě bych rád poděkoval prof. Ing. Jiřímu Militkému CSc., za pomoc při konzultacích mé diplomové práce. A v neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině a přátelům za poskytnutí prostředků a podporu ve studiu.



Anotace

V diplomové práci je popsán vývoj přístroje, metodiky měření a hodnocení tepelně-izolačních vlastností textilií za nízkých teplot.

Rešeršní část práce je věnována obecně přenosu tepla vedením, sáláním, radiací a je také zaměřena na přenos tepla v textilních strukturách. Jsou popsány tepelné charakteristiky související s tepelným komfortem, tepelnou bilancí člověka a izolací oděvního systému včetně odvození clo, které slouží ke kvantifikaci tepelného komfortu. V práci je uveden dvoufázový model predikce tepelné vodivosti textilních struktur, který vychází z tepelné vodivosti vláken a hustotní porózy textilie a je východiskem pro predikci clo. Jsou ukázány simulace prostupu tepla vedením přes vlákno, které poskytují hodnoty tepelné vodivosti srovnatelné s hodnotami získanými při použití dvoufázového modelu. Jsou popsány běžně užívané metody měření tepelné vodivosti a tepelného odporu založené převážně na přenosu tepla vedením, z kterých je následně vyhodnocováno clo. Byl konstatován rozpor mezi běžně užívanými postupy a normou ISO 11079:2007 „Stanovení a interpretace stresu z chladu pomocí potřebné izolace oděvu (IREQ) a místních účinků chladu“, kde je uvedeno, že pro výpočet potřebné izolace oděvu je nutno uvažovat především přenos tepla prouděním a sáláním.

V experimentální části jsou nejprve popsány vybrané materiály s různou úrovní tepelné izolace, u kterých byly měřeny tepelné charakteristiky na standardních přístrojích a za standardních podmínek. Další část je věnována vývoji a návrhu nového měřicího zařízení pro měření tepelně izolačních vlastností, které zohledňuje i přenos tepla prouděním a sáláním. Nejprve byly provedeny pokusy stanovení stupně tepelné izolace s využitím měření teploty v různých místech systému. V těchto pokusech však nebylo pokračováno, protože např. čidla při položení na textilií byla silně ovlivněna teplotou okolí. Nakonec byla zvolena metodika výpočtu tepelných ztrát na základě elektrického příkonu topného tělesa a stupně izolace založeném na reálném čase potřebném k ochlazení a k ohřevu topného tělesa o 1 °C a čase chlazení založeném na modelu chlazení polo-nekonečné vrstvy. Byly sledovány tepelné ztráty při poloze vzorku textilie přímo na topném tělese i v případě vzduchové mezery mezi topným tělesem a textilií. Na závěr práce byl pro vybranou textilií navržen model pro predikci tepelných ztrát, který zohledňuje tepelnou diferenci, rychlost proudění vzduchu a počet textilních vrstev pro obě polohy textilií vzhledem k topnému tělesu.



KLÍČOVÁ SLOVA:

tepelná vodivost, tepelný odpor, tepelný komfort, vedení tepla, proudění tepla, sálání tepla, měřicí tunel, tepelné ztráty při různých klimatických podmínkách.

Annotation

The thesis describes the design and development of the instrument, measurement method and evaluation of thermal insulation properties of fabrics at low temperatures.

The review is devoted to general heat transfer by conduction, convection and radiation and is also focused on heat transfer in textile structures. The thermal characteristics related to thermal comfort, thermal balance of human and insulated clothing system, including the derivation of clo, which is used for quantification of thermal comfort, are described in this work. The work includes a two-phase model for prediction of the thermal conductivity of textile structures, based on the thermal conductivity of fibers and density/ porosity of fabrics and it can be used for clo prediction. Simulation of heat transfer by conduction through the fiber, which provide thermal conductivity values comparable with two-phase model, is included, too. The commonly used methods for measuring of thermal conductivity and thermal resistance mainly based on heat conduction, from which it is subsequently evaluated clo, are described. There were noted a discrepancy between the commonly used procedures and ISO 11079: 2007 “Ergonomics of the thermal environment - Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects“, which states that the calculation of the required clothing insulation should be considered mainly heat conduction and radiation.

The selected samples of textiles with varying level of thermal insulation used for measurement of thermal characteristics on standard devices under standard conditions are described in experimental part. Next part is devoted to the development and design of a new measuring device for measuring the thermal insulation properties, which reflects the transfer of heat convection and radiation. In the start, attempts were made to determine the degree of thermal insulation with the use of measurement temperature at different places of the system. These experiments, however, did not continue because some problems, e.g. sensors when placed on the fabric were strongly influenced by the



ambient temperature. Finally, it was chosen methodology to calculate the heat loss based on the electric power of the heating element and isolation levels based on real-time required for cooling and heating of the heater on 1°C time and cooling time based on the model of semi-infinite layer cooling. Heat losses were observed at the position of the sample fabric directly on the heating element and in the case of a defined air gap between the heater and textile. Finally, the model predicting heat loss based on thermal difference, air velocity and the number of fabric layers for two positions of the fabric due to the heating element was created.

KEYWORDS:

Thermal conductivity, thermal resistance, thermal comfort, heat conduction, heat convection, heat radiation, measuring tube, heat losses in various climatic conditions.



Obsah

Poděkování.....	4
Anotace	5
Annotation	6
Seznam použitých veličin a zkratk.....	12
Úvod.....	14
1 Rešeršní část	15
1.1 Přenos tepla v textilních strukturách.....	15
1.1.1 Vedení tepla (kondukce).....	15
1.1.2 Proudění tepla (konvekce)	18
1.1.3 Sálání tepla (záření, radiace).....	21
1.2 Tepelné charakteristiky textilií	22
1.2.1 Hodnota clo a její význam	24
1.2.2 Tepelná vodivost vláken a dvoufázový model	27
1.3 Izolace oblečení člověka v podmínkách chladu	33
1.4 Měření tepelně izolačních vlastností.....	35
1.4.1 Měřicí zařízení Alambeta.....	36
1.4.2 Měřicí zařízení Togmeter.....	38
1.4.3 Měřicí zařízení FOX 314	41
1.4.4 Deskový přístroj podle Poensgena.....	43
1.4.5 Měřicí zařízení dr. Bocka.....	45
1.4.6 Přístroj na měření tepelné propustnosti TP-2	47
1.4.7 Metodika měření dle Kawabaty a Yondey	48
1.4.8 Metoda DTZ	49
2 Experimentální část.....	52
2.1 Vybrané materiály pro experimentální část a jejich charakteristiky.....	53
2.2 Měření prodyšnosti a tepelných vlastností materiálů na vybraných přístrojích dostupných na TUL	58



2.2.1 Měření na přístroji FX 3300	58
2.2.2 Měření na přístroji Alambeta	60
2.2.3 Měření na přístroji TP-2	65
2.3 Návrh nového měřicího zařízení	67
2.3.1 Návrh přístroje – měřicí tunel	68
2.3.2 Měření tepelných ztrát v přímém kontaktu textilie a měděné destičky	81
2.3.3 Měření tepelných ztrát materiálu se vzduchovou mezerou	87
2.3.4 Vyhodnocení tepelných ztrát textilií z předešlých dvou metodik	91
2.3.5 Ověřování správnosti měření teplotních čidel a teploty povrchu destičky	94
2.3.6 Rychlá metodika měření tepelných ztrát se vzduchovou mezerou	99
2.3.7 Metodika měření tepelných ztrát materiálu při zakrytí destičky vrstvami téže textilie	102
Závěr	116
Literatura	120
Seznam obrázků	125
Seznam tabulek	126
Seznam grafů	127
Seznam příloh	129
Příloha	131



Seznam použitých veličin a zkratek

R	Tepelný odpor	$[m^2 K W^{-1}]$
ΔT	Rozdíl teplot	$[K]$
q	Měrný tepelný tok	$[W m^{-2}]$
h	Tloušťka textilie	$[m]$
λ	Tepelná vodivost	$[W m^{-1} K^{-1}]$
T	Teplota	$[^{\circ}C]$
Q_e	Metabolické teplo	$[W m^{-2}]$
M	Metabolická rychlost	$[W.m^{-2}]$
W	Mechanický výkon	$[W.m^{-2}]$
E_{res}	Výměna tepla v dýchacích cestách evaporací	$[W.m^{-2}]$
C_{res}	Výměna tepla v dýchacích cestách konvekci	$[W.m^{-2}]$
E	Výměna tepla na kůži evaporací	$[W.m^{-2}]$
K	Výměna tepla na kůži kondukci	$[W.m^{-2}]$
R	Výměna tepla na kůži radiaci	$[W.m^{-2}]$
C	Výměna tepla na kůži konvekci	$[W.m^{-2}]$
H	Rychlost kumulace v těle	$[W.m^{-2}]$
P	Hustota	$[kg/m^3]$
J	Jemnost	$[Tex]$
L	Délka vlákna	$[m]$
Q	Množství tepla prošlého stěnou	$[W]$
τ	Čas průchodu tepla stěnou	$[s]$
S	Plocha stěny, kterou prochází teplo	$[m^2]$
q	Hustota tepelného toku	$[W.m^{-2}]$
a	Měrná teplotní vodivost	$[m^2.s^{-1}]$
b	Tepelná jímavost	$[W.m^{-2}.s^{1/2}.K^{-1}]$
t	Čas	$[s]$
T_p	Tepelná propustnost	$[W/m^2.K]$
DLE	Doba trvání omezené expozice	$[h]$
Q_{lim}	Snížení obsahu tělesného tepla	$[W.h.m^{-2}]$
S	Změna tepelné kapacity	$[W.m^{-2}]$



U	Napětí	[V]
I	Elektrický proud	[A]
TZM	Tepelné ztráty materiálu	[%]
W	Stupeň izolace	[-]
w_s	Tepelné ztráty	[W]
cca	přibližně	
tzv.	tak zvaný	
např.	například	
M_p	plošná hmotnost	
PES	polyester	
PAD	polyamid	
ČSN	česká technická norma	
ISO	International Organization for Standardization	
obr.	obrázek	
viz	vidět	
č.	číslo	
jednol.	jednolící	
Cu	měď	
var.	variační	
směr.	směrodatná	



Úvod

Člověk už od jakživa, aniž by znal jakékoliv fyzikální zákony o přenosu tepla, se snaží chránit před chladem pomocí různě tepelně izolačních materiálů. Z tohoto důvodu jsou tepelně izolační vlastnosti jednou z nejdůležitějších vlastností, obzvláště u materiálů, které mají být použity pro ochranu člověka před zimou. Postupem času se podařilo získat mnoho informací o přenosu tepla a tepelně izolačních vlastnostech textilních materiálů. Snaha při zjišťování těchto vlastností je co je co nejvíce se přiblížit reálným podmínkám, do kterých jsou dané textilie určeny. Tímto způsobem se chce například u textilních materiálů pro oblečení docílit co nejlepší tepelná pohoda nositele v daných podmínkách.

Cílem práce je zabývat se studiem možností hodnocení tepelně izolačních vlastností materiálů při různých teplotách okolního prostředí a různých rychlostech proudění okolního vzduchu a tím se co nejvíce přiblížit podmínkám ve, kterých mají být dané textilie používány. Rešeršní část je věnována způsobu prostupu tepla textiliemi, u kterých je popsáno, jakým vlivem se podílí na tepelných ztrátách u oblečení u člověka. Další část se věnuje vysvětlení základních tepelně izolačních vlastností, jednotce tepelného komfortu clo a jejímu použití. Poslední část je věnována měřicím zařízením a metodikám měření tepelně izolačních vlastností. Je zde ukázáno, že nejčastěji jsou materiály pro oblečení vyhodnocovány pomocí metodik prostupu tepla vedením, ale že tyto metodiky pro posouzení tepelně izolačních vlastností materiálů jsou bohužel nedostačující.

Experimentální část je věnována zjišťování tepelně izolačních vlastností materiálů nejprve na vybraných přístrojích běžně používaných na Technické univerzitě v Liberci za běžných okolních podmínek. V další části je s ohledem na získané znalosti z teoretické části zkonstruováno nové měřicí zařízení pro vyhodnocování tepelně izolačních vlastností materiálů. Při konstrukci zařízení byla snaha co nejvíce se přiblížit reálným podmínkám při nošení textilií s možností změny okolní teploty a rychlosti proudění okolního vzduchu. Bylo zde odzkoušeno několik metodik pro zjištění tepelně izolačních vlastností materiálu se zaměřením na nízké teploty v nově zkonstruovaném zařízení, kde se ukázaly jisté komplikace při měření tepelných ztrát. V závěru práce je



shrnutí vyhodnocení odzkoušených metodik, uvedeny další možnosti úprav a využití nového zařízení.

1 Rešeršní část

1.1 Přenos tepla v textilních strukturách

Přenos či sdílení tepla je velmi složitý proces. Pro jeho popis se často zavádí mnoho zjednodušení, díky kterým lze za pomoci matematických modelů přenos tepla popsat a vyhodnotit. Textilními strukturami teplo prostupuje třemi základními způsoby. Nejběžnější způsob prostupu tepla je vedení (kondukce), které je také nejčastěji u textilních struktur sledováno a vyhodnocováno. Další mechanismy prostupu tepla jsou proudění (konvekce) a sálání (záření, radiace), které by též neměly být opomíjeny [1, 2].

1.1.1 Vedení tepla (kondukce)

Vedení tepla v tělesech je proces, při kterém molekuly látky z oblasti s vyšší střední kinetickou energií předají část své pohybové energie molekulám o nižší střední kinetické energii prostřednictvím vzájemných srážek částic. Při tomto ději však zmiňované částice nemění svou polohu, ale pohybují se jen okolo svých rovnovážných poloh. Šíření tepla tímto způsobem je nejtypičtější pro pevné látky, kde jednotlivé části látky mají rozdílnou teplotu. Vedení tepla také probíhá u kapalin a plynů, ale již v daleko menší míře než je tomu u pevných látek. Z tohoto důvodu jsou často kapaliny a plyny označovány jako tepelné izolanty.

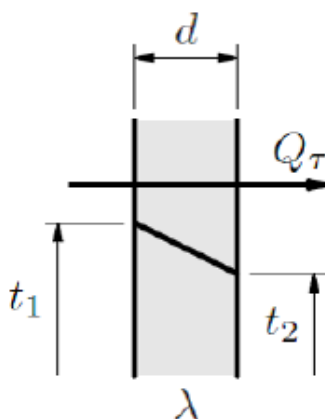
Tento způsob přenosu tepla, lze přiblížit například na nošení oděvu. Vrstva oděvu se dotéká svou plochou pokožky, další textilní vrstvy či jiného předmětu (např.: při sezení, ležení) a teplo je přenášeno kontaktním způsobem [3].

Nesmí být zapomínáno, že mezi oděvem a pokožkou je vzduchová vrstva. Tento způsob přenosu tepla se běžně používá ke kvantifikaci tepelného komfortu, ale z důvodu vzduchové mezery tento způsob nestačí. To vedlo k myšlence navrhnout nové

měřicí zařízení, kde by se při kvantifikaci tepelného komfortu, uvažovalo i se vzduchovou vrstvou.

1.1.1.1 Vedení tepla jednoduchou rovinnou stěnou

Je uvažována homogenní rovinná stěna o ploše S , která není ohraničena ve směru y a z . Tloušťka stěny je d a nachází se ve směru x . Tepelná vodivost stěny je λ . Vnitřní stálá teplota stěny je označena jako t_1 a vnější stálá teplota stěny je označena jako t_2 . Teplo působí ve směru osy x od vnitřní stěny ke stěně vnější ($t_1 > t_2$), viz obrázek 1.



Obrázek 1 Vedení tepla jednoduchou rovinnou stěnou [4]

Teplo procházející stěnou, lze popsat Fourierovým zákonem, který má tvar:

$$Q = -\lambda \cdot \tau \cdot S \frac{dT}{dx} = \lambda \cdot \tau \cdot S \frac{(t_1 - t_2)}{d} \quad (1)$$

Množství tepla, které projde plochou stěny za určitý čas, je označováno jako hustota tepelného toku a vyjadřuje ho rovnice:

$$q = \frac{Q}{S \cdot \tau} = -\lambda \cdot \frac{t_1 - t_2}{d} \quad (2)$$

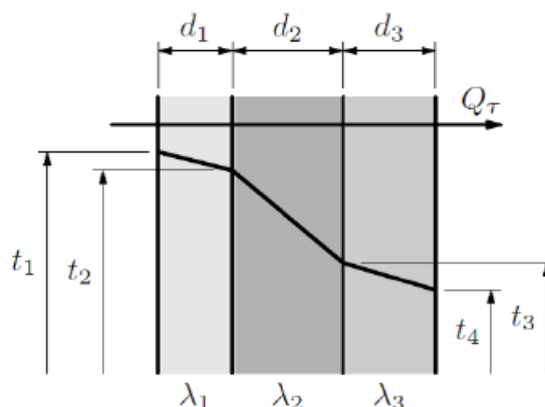
Kde:

Q	množství tepla prošlého stěnou	[W]
τ	čas průchodu tepla stěnou	[s]
S	plocha stěny, kterou prochází teplo	[m ²]
q	hustota tepelného toku	[W.m ⁻²]

Z uvedené rovnice je patrné, že s klesající teplotou tělesa, s kterou přijde člověk v oblečení do styku, roste množství tepla přenesené vedením. Také s větší plochou a menší tloušťkou oblečení roste množství tepla předaného vedením. Jako jednoduchou rovinou stěnu si lze představit přiléhavé triko, které je v přímém kontaktu s pokožkou člověka a sdílí z ní teplo kondukcí. Tento příklad platí jen za předpokladu, že mezi trikem a povrchem člověka nevznikla vzduchová mezera [4, 5].

1.1.1.2 Vedení tepla složenou rovinnou stěnou

V tomto případě se jedná o rovinu složenou z několika vrstev o rozdílných tloušťkách (d_1, d_2, d_3 až d_n), rozdílných tepelných vodivostech ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ až λ_n) a stejné ploše stěny, kterou prochází teplo. Dále jsou známy teploty krajních vrstev, pro tento případ jsou známy teploty t_1 a t_4 . Teploty na rozhraní vnitřních vrstev nejsou známy, ale jelikož jsou v přímém kontaktu jedna s druhou, mají stejnou hodnotu. Pokud $t_1 > t_4$, je patrné, že teplo prostupuje vrstvami v kladném směru osy x , jak je tomu na obrázku 2 [4].



Obrázek 2 Vedení tepla složenou rovinnou stěnou [4]



Pro případ, že bude průtok tepla stálý, bude i tepelný tok stálý a tudíž bude mít i stejnou hodnotu pro všechny vrstvy. Z toho vyplývá, že výsledná rovnice pro výpočet množství tepla, které projde složenou stěnou, bude součet množství tepla n -tých jednotlivých vrstev:

$$Q = S \frac{(t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}} \quad (3)$$

Hustota tepelného toku pro složenou stěnu, se potom spočítá pomocí rovnice:

$$q = \frac{(t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}} \quad (4)$$

Kde:

Q	množství tepla prošlého stěnou	[W]
S	plocha stěny, kterou prochází teplo	[m ²]
q	hustota tepelného toku	[W.m ⁻²]

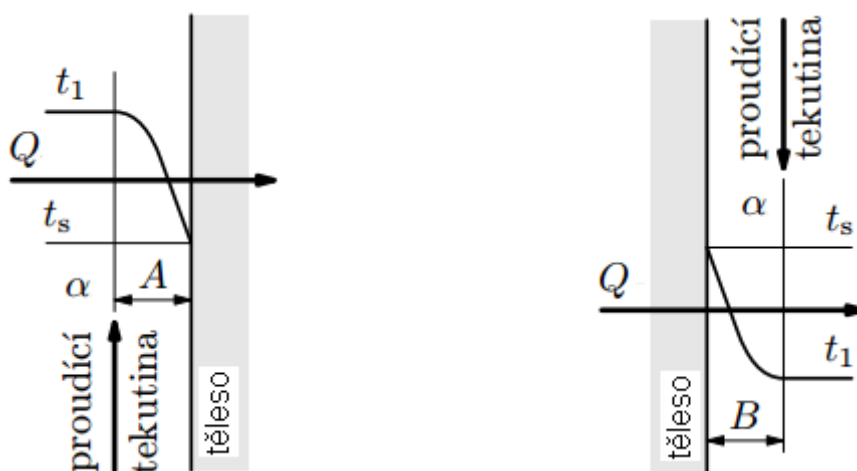
Jako složenou rovinou stěnu si lze představit několik vrstev oblečení, kde nejspodnější vrstva je v přímém kontaktu s pokožkou člověka a další vrstvy těsně přiléhají, jedna na druhou, např. vrstvy: přiléhavé tílko, triko a svetr, opět za předpokladu, že by ani mezi jednotlivými vrstvami nebyla žádná vzduchová mezera [4, 5].

1.1.2 Proudění tepla (konvekce)

Se sdílením tepla prouděním se setkáváme téměř na každém kroku. Mezi tento způsob přenosu tepla patří jakékoliv obtékání těles a patří sem třeba i volné proudění v atmosféře. Jedná se o přenos tepla, kde je teplo přenášeno pohybujícími se částicemi tekutiny. Tekutinou je myšlena kapalina nebo plyn. Z pohledu fyziky rozeznáváme dva typy proudění - volné a nucené. U volného proudění je pohyb tekutiny vynucen

rozdílnými hodnotami hustoty látky. U nuceného proudění je rozdíl tlaků vynucen umělou cestou, například za pomoci ventilátoru či čerpadla. Nuceného proudění se využívá tam, kde chceme rychleji vyrovnat teplotní rozdíl v tekutině.

Při kontaktu tekutiny s pevným tělesem dochází při stěně tělesa k ohřevu nebo ochlazení tenké vrstvy protékajícího média. Záleží na teplotě tělesa, zda je vůči tekutině vyšší nebo nižší. Tento vzniklý rozdíl teplot vede ke vzniku volného proudění. Na obrázku 3 jsou znázorněny dva způsoby sdílení tepla mezi tekutinou a tuhým tělesem. V části A dochází ke sdílení tepla prouděním z tekutiny do tělesa a v části B je zakreslen případ, kdy dochází ke sdílení tepla prouděním z tělesa do tekutiny [2, 6].



Obrázek 3 Sdílení tepla prouděním [2]

Pro přestup tepla prouděním je rozhodující součinitel přestupu tepla α . Tento součinitel α však závisí na vlastnostech tekutiny, rychlosti proudění tekutiny okolo stěny, rozložení teploty, povrchu stěny tělesa, ale nezáleží na materiálu tělesa. Kvůli těmto a dalším činitelům je velmi složité součinitel tepelné vodivosti analyticky určit. Pro určení tohoto součinitele se nejčastěji vychází z kritériálních rovnic bezrozměrných kritérií, jako je Reynoldsovo, Nuseltovo, Prandtlůvo, Grashoffovo a Weberovo číslo, které byly experimentálně odzkoušeny za různých podmínek sdílení tepla. Pro představu jakých hodnot součinitel α nabývá, je ukázáno v tabulce 1 [6, 7].



Tabulka 1 Velikosti součinitele α v určitých prostředích

Prostředí		Prostředí	
<i>volné proudění</i>	$\alpha [Wm^{-2}K^{-1}]$	<i>nucené proudění</i>	$\alpha [Wm^{-2}K^{-1}]$
plyny	2 - 25	plyny	25 – 250
kapaliny	50 - 1000	kapaliny	50 - 20000

Pro výpočet sdílení tepla prouděním se vychází z rovnice:

$$Q = \alpha \cdot \tau \cdot S \cdot (t_s - t_1) \quad (5)$$

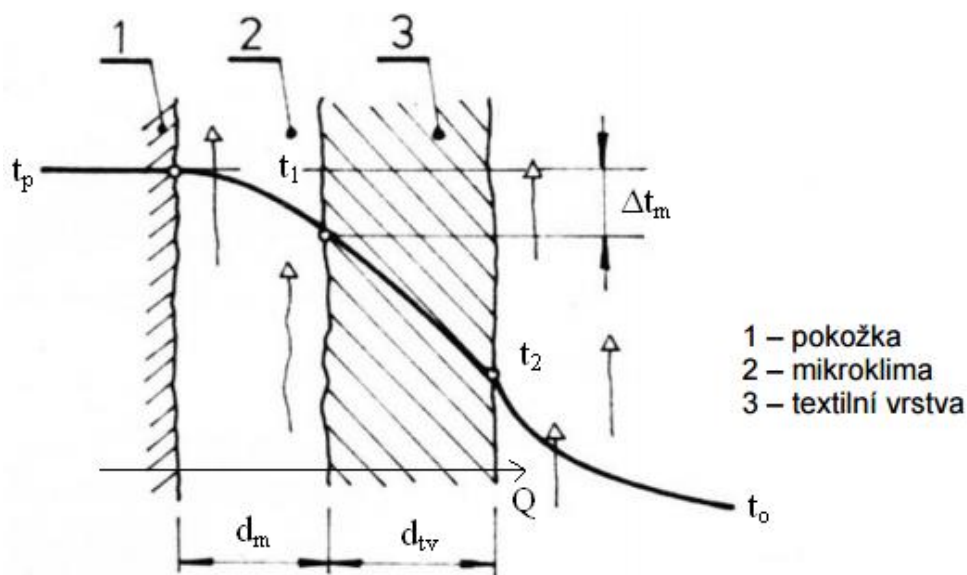
Hustotu tepelného toku lze potom přibližně vyjádřit následujícím vztahem:

$$q = \alpha \cdot (t_s - t_1) \quad (6)$$

Kde:

Q	množství odvedeného tepla	[W]	
α	součinitel přestupu tepla	$[Wm^{-2}K^{-1}]$	
τ	čas průchodu tepla tělesem	[s]	
S	plocha tělesa	$[m^2]$	
t_s	teplota povrchu tělesa	$[^{\circ}C]$	
t_1	teplota tekutiny	$[^{\circ}C]$	
q	hustota tepelného toku	$[W.m^{-2}]$	[13]

Tento druh sdílení tepla si ve spojení s textilem a člověkem můžeme představit například při nošení volnějšího trička, kdy mezi pokožkou a textilní vrstvou vzniká oblast tzv. mikroklima neboli vzduchová vrstva. V prostoru vzduchové vrstvy dochází k proudění vzduchu a k částečnému snížení teploty. Na proudění pod textilní vrstvou má vliv jak tloušťka textilie, tak i samotný pohyb člověka. Systém pokožka, vzduchová vrstva a textilní vrstva je naznačeno na obrázku 10 [8].



Obrázek 4 Přenos tepla prouděním z pokožky přes mikroklima a textilní vrstvu [8]

Proudění na povrchu lidského těla pokrytého oděvem vede k tepelným ztrátám, které lze vyjádřit rovnicí:

$$Q = \alpha \cdot \frac{S_{ob}}{S_0} S \cdot (t_o - t_v) \quad (7)$$

Kde:

$\frac{S_{ob}}{S_0}$	poměr kryté části těla oděvem k ploše některých částí těla	
S	plocha těla neoblečeného člověka	$[m^2]$
t_o	teplota na povrchu oděvu	$[^{\circ}C]$
t_v	teplota vzduchu	$[^{\circ}C] \quad [8]$

1.1.3 Sálání tepla (záření, radiace)

Sálání tepla je založeno na vnitřních změnách energie tělesa, kdy následně těleso vydává záření. Záření je uvolňováno do okolí tělesa formou elektromagnetických vln. Při styku tohoto záření s jiným tělesem dojde k částečnému pohlcení záření, část záření se odrazí a část záření tělesem projde k dalšímu tělesu. Při částečném pohlcení záření, dojde u tohoto tělesa ke zvýšení vnitřní energie. Na odrazu a průchodu záření tělesem



má především vliv jakost a barva jeho povrchu. Jako příklad s použitím textilií je, že v teplých letních dnech se snažíme oblékat si oblečení světlých barev, abychom sluneční záření co nejvíce odráželi a nepohlcovali. Výhodou tohoto záření je, že ke svému přenosu tepla nepotřebuje žádné hmotné prostředí, jelikož elektromagnetické vlny se šíří i ve vakuu [2].

Pro výpočet množství přeneseného sálavého tepla, lze použít rovnici:

$$Q = \alpha_S \cdot S_S \cdot (t_o - t_t) \quad (8)$$

Kde:

Q	množství sálavého tepla	[W]
α_S	součinitel přestupu tepla sáláním	$[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$
S_S	plocha tělesa, z kterého teplo sálá	$[\text{m}^2]$
t_o	teplota na povrchu tělesa	$[\text{°C}]$
t_t	teplota povrchu těles v okolí	$[\text{°C}]$ [14]

1.2 Tepelné charakteristiky textilií

Mezi první materiály objevené člověkem patří právě textilie. Z textilií se hned od počátku začaly vyrábět různé druhy oblečení, které plnily různé funkce, jako například ochranou, izolační, ale třeba i kulturní. Oblečení je bráno za druhou kůži člověka, která ho ochraňuje. Jako další funkce oděvu jsou brány možnosti změnit vzhled, zvýraznit stav, náladu, společenské postavení atd. Při navrhování oděvních a ochranných oděvních textilií, je třeba brát ohled na dodržení a zajištění jejich komfortu (propustnost pro vodní páru a nepropustnost pro kapalnou vodu, tepelný odpor, ventilace) [9].

„Komfort je definován jako stav pohody oblečeného člověka v daných podmínkách okolí. Tepelný komfort souvisí s pocity tepla a chladu v kombinaci s vlhkostí (např. suché teplo, mokré teplo) a případně prouděním vzduchu“ [9].



Tepelný komfort je vyjádřen pomocí speciálních jednotek clo respektive tog. Tyto jednotky zahrnují tepelnou izolaci oděvního materiálu a tepelnou izolaci vzniklou vzduchovými mezerami v oděvu. Veličiny clo a tog přímo souvisí s tepelným odporem R , který je udáván v jednotkách $[\text{m}^2 \text{K W}^{-1}]$. Jeden tog odpovídá hodnotě $0,1 [\text{m}^2 \text{K W}^{-1}]$. Obecný platný vztah je, že $R = 0,15 \text{ clo}$ a proto jeden clo je roven $1,55 \text{ tog}$, což je po převedení $0,155 [\text{m}^2 \text{K W}^{-1}]$ [12].

Tepelný odpor textilie je možné definovat jako hodnotu odporu, kterou klade materiál při průchodu tepla textilií. Tepelný odpor materiálu je dán tloušťkou materiálu a jeho tepelnou vodivostí. Ze vztahu 9 plyne, že pokud bude materiál s nízkou tepelnou vodivostí a vysokým tepelným odporem, jedná se o dobrý tepelně izolační materiál.

$$R = \frac{\Delta T}{q} = \frac{h}{\lambda} \quad (9)$$

Kde ΔT [K] je rozdíl teplot na vnitřní a vnější straně textilie, q [W m^{-2}] je měrný tepelný tok, h je tloušťka textilie a λ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$] je tepelná vodivost. S klesající teplotní vodivostí roste tepelný odpor textilie [9,10].

Tepelná vodivost je definována jako schopnost přenášet tepelnou energii. Zvýší-li se teplota atomů v jednom místě, zvýší se i jejich rozkmit, tím začnou narážet i do ostatních atomů, které se také začnou více rozkmitávat a tím se projeví vedení tepla [11].

Známe-li hodnotu clo, lze potom tepelnou vodivost dopočítat ze vztahu [12]:

$$\lambda = \frac{h}{R} = \frac{h}{0,155 \text{ clo}} \quad (10)$$

Je známo, že tepelná vodivost dosahuje mnohem vyšších hodnot u pevných látek nežli u kapalin. Tepelná vodivost většiny polymeru se pohybuje okolo $0,2$ až $0,5 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$. Tepelná vodivost pro pevné látky je uváděna od 1 do $5 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$, pro vodu při teplotě 20°C je to $0,6 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ a tepelná vodivost pro suchý vzduch při teplotě 0°C je uváděna hodnota $0,024 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ [9].

Je také známo, že s rostoucí teplotou tepelná vodivost materiálu klesá. Materiály, které vykazují vysokou teplotní vodivost, jsou také často nazývány jako vodiče a materiály, které naopak mají nízkou tepelnou vodivost, jsou označovány za izolanty. S jemností vláken též klesá jejich teplotní vodivost, proto materiály z velmi jemných vláken mají nejmenší vodivost. Naopak čím vyšší průměr a hrubší povrch vlákna, tím vzrůstá i tepelná vodivost materiálu [13].

1.2.1 Hodnota clo a její význam

Literatura uvádí, že hodnota jednoho clo, je charakterizována jako tepelná izolace oděvu u sedícího muže v normální ventilované místnosti při teplotě 21 °C (T_s), 50% vlhkosti a při proudění vzduchu v místnosti rychlostí 0,1 m.s⁻¹. Předpokládá se, že z celkového metabolického tepla, které je 1 Met, tj. 58 153 W m⁻², se 24 % metabolického tepla ztrácí odpařováním z pokožky a zbylých 76 % ($Q_e=44,1963$ W m⁻²) se musí odvézt skrz oděv mechanismy radiace, vedení a proudění. Odhadovaná teplota pokožky v pohodovém stavu je odhadována na 33 °C (T_a). Výsledný celkový tepelný odpor R_T systému oděv a okolní izolační vrstva se spočítá z rovnice [14]:

$$R_T = \frac{T_s - T_a}{Q_e} \quad (11)$$

Po dosazení vyjde celkový tepelný odpor 0,2715 m² K W⁻¹. Za výše uvedených podmínek je izolace vzduchové vrstvy volena $R_a=0,12$ m² K W⁻¹. Potom izolace oděvního systému je vyjádřena rovnicí:

$$R_O = R_T - R_a \quad (12)$$

Po vypočítání rovnice vyjde přibližně hodnota 0,155 m² K W⁻¹, což je hodnota 1 Clo. Hodnoty clo pro letní a zimní oblečení se liší. Pro letní oblečení je hodnota clo okolo 0,5 a pro normální zimní podmínky je hodnota clo okolo 1. Pro oblečení do extrémně chladného počasí je hodnotilo clo udávána až okolo 3-4. U oblečení z více vrstev se hodnota clo pro všechny vrstvy dohromady $\sum clo$ sčítá. V tomto případě potom



výsledná hodnota $\sum clo$ závisí na pohlaví nositele. Clo pro muže se rovná $0,727 \sum clo + 0,113$ a clo pro ženy se rovná $0,770 \sum clo + 0,05$ [9,10].

Při volbě izolace vzduchu se vycházelo z rovnice tepelné bilance člověka:

$$M - W = E_{res} + C_{res} + E + K + R + C + H \quad (13)$$

Kde:

M	metabolická rychlost	[W.m ⁻²]
W	mechanický výkon	[W.m ⁻²]
E _{res}	výměna tepla v dýchacích cestách evaporací	[W.m ⁻²]
C _{res}	výměna tepla v dýchacích cestách konvekci	[W.m ⁻²]
E	výměna tepla na kůži evaporací	[W.m ⁻²]
K	výměna tepla na kůži kondukci	[W.m ⁻²]
R	výměna tepla na kůži radiací	[W.m ⁻²]
C	výměna tepla na kůži konvekci	[W.m ⁻²]
H	rychlost kumulace v těle	[W.m ⁻²]

Z těchto uvedených ztrát oblečení člověka ovlivňuje ztráty tepla způsobené evaporací (vypařováním) z pokožky, kondukci z pokožky, konvekci z pokožky a radiací z pokožky. V tomto případě se dá kombinovaná tepelná ztráta za sucha, kde se jedná o kombinaci ztrát způsobených vedením, prouděním a radiací spočítat pomocí rovnice:

$$K + C + S = \frac{T_s - T_a}{R_T} \quad (14)$$

Kde R_T je myšleno jako celkový odpor oděvu a vzduchové vrstvy. Hodnotu celkového odporu dostaneme sečtením tepelných odporů vedením, prouděním, sáláním a hodnoty odporu vzduchové mezery, která se spočítá jako tloušťka vzduchové mezery podělena tepelnou vodivostí vzduchu [14].

Tepelná ztráta způsobená jen vedením K [W.m⁻²] se vypočítá pomocí rovnice:



$$K = R_c(T_{cl} - T_a) \quad (15)$$

V tomto případě je často teplota textilie nahrazována teplotou pokožky v pohodovém stavu.

Tepelná ztráta způsobená pouze prouděním C [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] se vypočítá pomocí rovnice:

$$C = f_{cl} \cdot k_p (T_{cl} - T_a) \quad (16)$$

V tomto případě je f_{cl} relativní část plochy člověka pokrytá oděvem. Koeficient přenosu tepla prouděním – k_p souvisí s pohybem lidí a rychlostí proudění okolního vzduchu. Například v případě, že člověk sedí a okolo něj proudí vzduch rychlostí 0,2 m/s je tento koeficient $3,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Tepelná ztráta způsobená pouze sáláním S [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] se vypočítá pomocí rovnice:

$$S = f_{cl} \cdot k_R (T_{cl} - T_r) \quad (17)$$

Kde k_R [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$] je koeficient přestupu tepla sáláním a spočítá se z rovnice:

$$k_R = 4\varepsilon\sigma \frac{A_r}{A_T} \left(273,15 + \frac{T_{cl} + T_r}{2}\right)^3 \quad (18)$$

Kde:

ε	průměrná emisivita oděvu (0,95)	[-]
σ	Stefan Boltzmanova konstanta ($5,68 \cdot 10^{-8}$)	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}]$
A_r	efektivní plocha sálání tepla	$[\text{m}^2]$

Poměr A_r/A_T se pro sedícího člověka používá 0,7 a pro stojícího člověka 0,73. V běžných podmínkách obyčejné místnosti se uvažuje odpor sáláním jako konstantní. Pro výpočet se jeho hodnota bere $4,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. V případě, že se nevyskytuje, žádné

sluneční záření ani jiné externí zdroje tepla, bere se za radiační teplotu teplota okolního vzduchu.

Tepelné ztráty vypařováním jsou popsány rovnicí:

$$E = \frac{P_s - P_a}{R_{et} + R_{esk}} \quad (19)$$

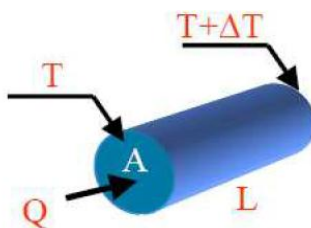
Kde:

P_s	průměrný tlak na pokožce	[kPa]
P_a	průměrný tlak par vzduchu	[kPa]
R_{et}	výparný odpor oděvního systému	[m ² ·kPa·W ⁻¹]
R_{esk}	výparný odpor pokožky (0,33)	[m ² ·kPa·W ⁻¹] [43,45].

Výpočty ostatních tepelných ztrát člověka jsou uvedeny v literatuře [14].

1.2.2 Tepelná vodivost vláken a dvoufázový model

Tepelná vodivost λ je vlastnost materiálu, která charakterizuje jak daný materiál je schopen vézt teplo. Transport tepla vláknem je znázorněn na obrázku 5 [11].



Obrázek 5 Transport tepla vláknem [15]

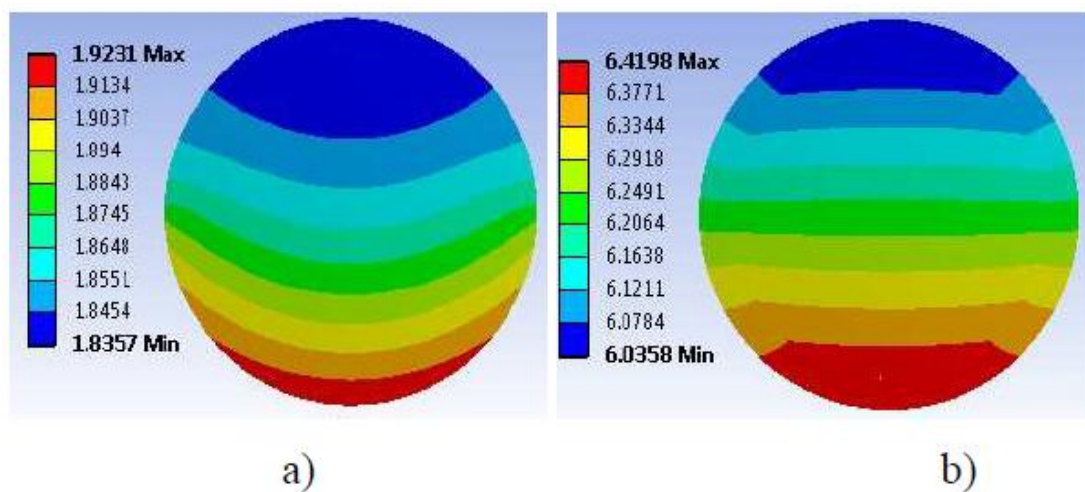
Základní jednotkou tepelné vodivosti je [W m⁻¹ K⁻¹] a charakterizuje ji součinitel tepelné vodivosti, který udává rychlost, jakou se šíří teplo z místa materiálu s vyšší teplotou do části materiálu s nižší teplotou, za předpokladu, že se teplo šíří jedním směrem. Tepelná vodivost je jednorozměrný ustálený tok vláknem, o kruhovém průřezu A (s průměrem d [m], hustotou ρ [kg/m³] a jemností J [Tex]) a délkou vlákna L [m].

Teplo prostupuje vláknem ve směru osy vlákna a důsledkem rozdílu teplot ΔT [K] na začátku a na konci vlákna, lze tento děj popsat pomocí Fourierova zákona [13,15].

$$q = -\lambda \cdot A \frac{\Delta T}{L} \quad (20)$$

kde q [W] je tepelný tok vláknem ve směru osy vlákna na jednotku plochy, která je kolmá k proudění tepla.

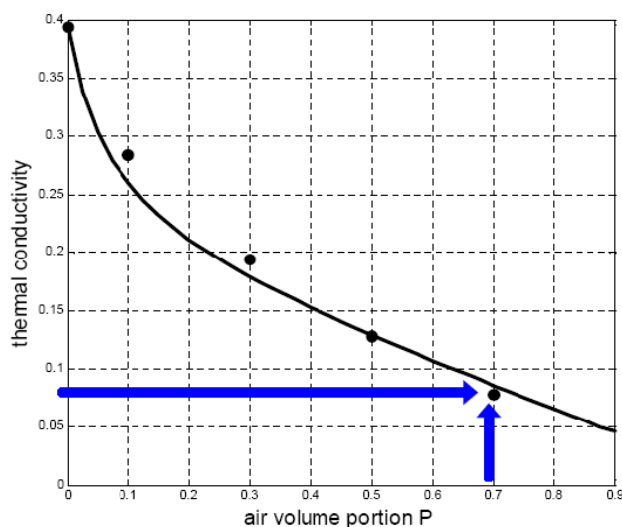
V programu ANSYS lze simulovat rozdělení teplot ve vlákně, když z jedné strany bude vlákno ohříváno teplotou 30°C a naproti tomu z druhé strany bude vlákno ochlazováno na povrchu na -30°C za předpokladu, že tepelný tok je $200 \text{ [W.m}^{-2}\text{]}$. Pro vlákno z monofilu polyetylénu (tepelná vodivost 0.4 W/m.K), specifické teplo 2300 J/(kg K) , hustota 930 kg/m^3) o průměru $0,3 \text{ mm}$ je vidět rozložení teplot na obrázku 3a. Na obrázku 3b, je provedena simulace na materiálově stejném vlákně, které má uprostřed dutinu o velikosti $0,251 \text{ mm}$ [9].



Obrázek 6 a) Rozložení teplot ve vlákně bez dutiny, b) rozdělení teplot ve vlákně s dutinou [2a]

Na obrázku 6 je možné zjistit rozdíl teplot ΔT . Jelikož je znám i tepelný tok, který je $200 \text{ [W.m}^{-2}\text{]}$, může být za pomoci rovnice 20 určena i tepelná vodivost vlákna. Když se pomocí tohoto vztahu dopočítá tepelná vodivost pro zmiňované vlákno z monofilu polyetylénu, které je bez vzduchové dutiny, vyjde tepelná vodivost $0,3935$

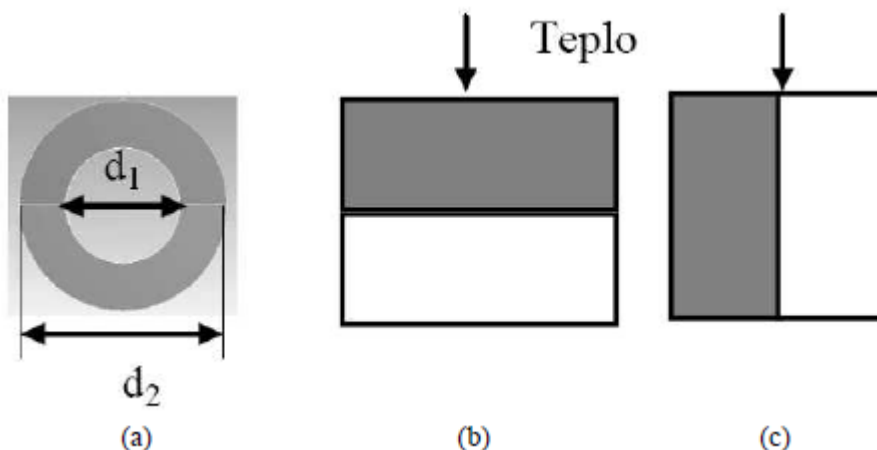
$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$. Na obrázku 7, je graf závislosti tepelné vodivosti na vzduchových dutinách ve vláknu monofilu polyetylénu. Na ose x jsou uvedeny hodnoty, které udávají, jak velká je vzduchová dutina k poměru vlákna, které je v tomto případě 1. Na ose y jsou vyobrazeny hodnoty tepelné vodivosti. Z grafu je patrné, že s růstem vzduchové dutiny ve vlákne výrazně klesá tepelná vodivost těchto vláken. V případě, že dutina bude zabírat 70% z celkového objemu vlákna, bude hodnota tepelné vodivosti pro takovéto vlákno z monofilu polyetylénu jen $0,0781 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (bod v grafu, který je zvýrazněn pomocí šipek) [9,10,15].



Obrázek 7 Vliv vzduchové dutiny ve vláknu monofilu polyetylénu na jeho tepelnou vodivost [9]

Dvoufázový model pro výpočet tepelné vodivosti

Pro určení tepelné vodivosti dutých vláken lze použít jednoduché dvoufázové modely (Obrázek 8). Jeden model by představoval fázi vzduchu s vodivostí λ_a (bílá plocha na obrázku 8) a druhý model by představoval fázi vlákna s vodivostí λ_f (šedá plocha na obrázku 8) při znalosti objemu vzduchu uvnitř dutého vlákna [1,14].



Obrázek 8 a) Geometrie dutého vlákna, b) a c) limitní uspořádání fáze vzduchu a polymeru [15].

Dolní limita dvoufázového uspořádání je znázorněna obrázku 8b, kde se jedná o sériové umístění fází. Horní limita dvoufázového umístění je potom brána jako paralelní uspořádání fází (viz. obrázek 8c). Kde podíl fáze vzduchu (porozita) je P a podíl vlákenné fáze je $1-P$. Hodnotu porozity lze snadno určit z vnějšího a vnitřního průměru vlákna z rovnice [1,14]:

$$P = \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (21)$$

V tomto případě je d_1 vnitřní průměr a d_2 vnější průměr vlákna. Horní mez tepelné vodivosti při paralelním uspořádání se vypočítá pomocí rovnice:

$$\lambda_{hp} = P \cdot \lambda_a + (1 - P) \cdot \lambda_f \quad (22)$$

A dolní mez tepelné vodivosti pro sériové uspořádání se vypočítá dle rovnice:

$$\lambda_{hs} = \frac{\lambda_a \cdot \lambda_f}{P \cdot \lambda_f + (1 - P) \lambda_a} \quad (23)$$

A výsledná vodivost dutých vláken lze potom spočítat pomocí rovnice:

$$\lambda_h = \frac{\lambda_{hp} + \lambda_{hs}}{2} \quad (24)$$

Kde:

λ_{hp}	paralelní tepelná vodivost	[W/K.m]
λ_{hs}	sériová tepelná vodivost	[W/K.m]
λ_h	tepelná vodivost dutých vláken	[W/K.m]
λ_a	tepelná vodivost vzduchu (0,024)	[W/K.m]
λ_f	tepelná vodivost polymeru	[W/K.m]

Při výpočtu tepelné vodivosti plošných textilií, které jsou složeny ze dvou druhů vláken, lze opět vycházet z dvoufázového modelu, který lze použít pro výpočet tepelné vodivosti dutých vláken. Pro výpočet tepelné vodivosti je v tomto případě potřeba znát objemovou porozitu dané textilie. Pro výpočet objemové porozity je potřeba znát hustotu vláken a hustotu textilie. Jelikož některé textilie často obsahují více druhů vláken, je potřeba u nich vypočítat hustotu směsi vláken. Při výpočtu hustoty směsi vláken se vychází z rovnice:

$$\rho_{vAB} = \frac{\rho_A \cdot \rho_B}{b_r \rho_B + 1 - b_r \cdot \rho_A} \quad (25)$$

Kde:

ρ_{vAB}	hustota směsi vláken	[kg/m ³]
ρ_A	hustota vláken A obsažených ve směsi	[kg/m ³]
ρ_B	hustota vláken B obsažených ve směsi	[kg/m ³]
b_r	podíl obsažených vláken B ve směsi	[-]

Pro výpočet hustoty textilie ρ_t [kg/m³] se používá plošná hmotnost textilie M_p [kg/m²] a tloušťka materiálu h [m] a vychází se z rovnice:

$$\rho_t = \frac{M_p}{h} \quad (26)$$



Ze známé hustoty vláken a hustoty textilie lze za pomoci následující rovnice dopočítat objemovou porozitu p_o , kterou je potřeba znát pro výpočet tepelné vodivosti:

$$p_o = \frac{\rho_{vAB}}{\rho_t} \quad (27)$$

Ze známé objemové porozity lze vypočítat tepelnou vodivost pro dané textilie. Nejprve je nutné si spočítat tepelnou vodivost jednotlivých vláken. Jelikož u některých textilií může být použito více druhů vláken, je možné spočítat tepelnou vodivost pro směs vláken za pomoci následující rovnice:

$$\lambda_{AB} = b_r \lambda_A + (1 - b_r) \cdot \lambda_B \quad (28)$$

Kde:

λ_{AB}	tepelná vodivost směsi vláken	[W/K.m]
b_r	podíl obsažených vláken A ve směsi	[-]
λ_A	tepelná vodivost vláken A ve směsi	[W/K.m]
λ_B	tepelná vodivost vláken B ve směsi	[W/K.m]

Při výpočtu tepelné vodivosti textilií se uvažuje paralelního a sériového uspořádání vláken, do kterých je zahrnuta objemová porozita dané textilie. Tepelná vodivost při paralelním uspořádání λ_P [W/K.m] se vypočítá pomocí rovnice:

$$\lambda_P = p_o \cdot \lambda_a + (1 - p_o) \cdot \lambda_{AB} \quad (29)$$

A tepelná vodivost pro sériové λ_S [W/K.m] uspořádání se vypočítá dle rovnice:

$$\frac{1}{\lambda_S} = \frac{p_o}{\lambda_a} + \frac{1-p_o}{\lambda_{AB}} \quad (30)$$

Výsledná tepelná vodivost textilie λ_f [W/K.m] se vypočítá z rovnice:

$$\lambda_f = \frac{\lambda_P + \lambda_S}{2} \quad (31)$$

Pomocí těchto výpočtů lze získat přibližnou vodivost směsi vláken a jednotlivých textilií [10,1].

1.3 Izolace oblečení člověka v podmínkách chladu

Profesor Holmér rozvinul myšlenku tepelného indexu založeného na racionální kalkulaci (tj z výpočtu rovnice tepelné bilance pro oblečeného člověka) z nejmenší izolace oblečení potřebnou pro tepelnou bilanci a pohodlí člověka. Pro jakoukoliv kombinaci podmínek prostředí a lidské činnosti, kde je tendence pro negativní uložení v těle (tj za studena), existuje teoretické oblečení s izolační schopností, které splňují tyto podmínky. Holmér vychází z předpokladu, že moderní verze indexu tepelného stresu a ISO 11079 (2007) poskytují způsob výpočtu IREQ z hlediska rovnice tepelné bilance člověka. Jsou navrženy dva indexy: izolace oblečení potřebná pro tepelnou bilanci (IREQ_{min}) a izolaci oblečení potřebnou, aby poskytovala pohodlí (IREQ_{neutral}).

IREQ_{min} definuje minimální tepelnou izolaci potřebnou k udržení tělesné tepelné rovnováhy při subnormální úrovni průměrné tělesné teploty. Minimální IREQ představuje nejvyšší úroveň fyziologického napětí, které by člověk měl být vystavený při provádění pracovní činnosti. IREQ_{neutral} je definována jako nezbytná k poskytnutí podmínek tepelné neutrality tepelné izolace, to znamená, že tepelnou rovnováhu udržuje na normální úrovni průměrné tělesné teploty. Tato úroveň představuje nulové nebo nízké fyziologické napětí [16].

IREQ je výsledná izolace oblečení, která se vyžaduje během aktuálních podmínek prostředí a činnosti příslušného člověka udržet na fyziologických požadavcích. Při výpočtu IREQ se vychází z rovnice bilance tepla (rovnice 13).

Výměna tepla na kůži kondukcí je u stojícího člověka natolik malá, že se zanedbává a výměna tepla přes oděv je potom dána rovnicí [16,17,18]:

$$R + C = M - W - E_{res} - C_{res} - E = \frac{t_{sk} - t_{cl}}{I_{cl}} \quad (32)$$



Kde:

t_{sk}	průměrná teplota pokožky	[°C]
t_{cl}	teplota povrchu oblečení	[°C]
I_{cl}	izolace oblečení	[-]

Odkud tepelná izolace IREQ se spočítá z rovnice:

$$IREQ = \frac{t_{sk} - t_{cl}}{M - W - E_{res} - C_{res} - E} \quad (33)$$

Pokud bude vypočtená hodnota IREQ nedostačující, bude v tomto případě negativní akumulace tepla - bude docházet k tepelným ztrátám. Za těchto podmínek, budou přípustné expoziční časy, tzv. doby trvání omezené expozice (DLE), počítány z rovnice [16,17]

$$DLE = \frac{Q_{lim}}{S} \quad (34)$$

Kde:

DLE	doba trvání omezené expozice	[h]
Q_{lim}	snížení obsahu tělesného tepla	[W.h.m ⁻²]
S	změna tepelné kapacity	[W.m ⁻²]

Kde změna tepelné kapacity se spočítá z rovnice:

$$S = M - W - H_{res} - E - R - C \quad (35)$$

Kde:

S	změna tepelné kapacity	[W.m ⁻²]
M	energetický výdej	[W.m ⁻²]
W	účinnost práce	[W.m ⁻²]
H_{res}	celkové respirační tepelné ztráty	[W.m ⁻²]
E	výměna tepla na kůži evaporací	[W.m ⁻²]
R	výměna tepla na kůži radiací	[W.m ⁻²]



Limitní hodnotu Q_{lim} stanovil na základě pokusů Profesor Holmér, která je -40 W.h.m⁻². Hodnoty IREQ a DLE se snadno dají spočítat pomocí jednoduchého počítačového programu. Index IREQ byl po několika fázích vývoje přijat pro praktickou aplikaci. Odhady izolací oblečení a metabolického vzniku tepla jsou předmětem nepřesností, přesto mají vliv ve výsledcích výpočtů tepelné bilance. Index IREQ se stal standardní metodou pro hodnocení chladného prostředí a tvoří základ mezinárodního standardu ISO 15743 (2003) [17].

1.4 Měření tepelně izolačních vlastností

V současné době existuje mnoho přístrojů a metod pro měření tepelně izolačních vlastností textilií, které se liší principem i aplikovatelností a zde jsou představeny jen některé z nich.

Tepelná vodivost se měří za stacionárních nebo nestacionárních podmínek, podle toho, zda teplota v daném čase zůstane stejná nebo zda se změní. Za stacionárních podmínek se jedná o metodu, kdy tepelný tok je ustálen. V případě nestacionárních podmínek jde o metodu, kdy tepelný tok není ustálen. Častěji je v praxi využívána metoda měření za stacionárních podmínek. Obě tyto metody jsou založeny na principu, že teplo prochází směrem od vyhřívané desky, válce nebo koule přes zkoumaný materiál k dalšímu chladnějšímu povrchu, kde je odevzdáno. Při měření je potom zjišťována tloušťka měřeného materiálu, obě povrchové teploty a množství tepla, které se nejčastěji určí z převodu elektrické energie potřebné pro ohřev měřicího zařízení. Nejdůležitější podmínkou pro tyto měření je, že veškeré přiváděné teplo musí projít pouze zkoumaným materiálem bez jakýchkoliv jiných ztrát a při ustáleném stavu [19].

Měření za stacionárních podmínek je časově náročnější i bez ohledu na velikost a tloušťku měřeného materiálu z důvodu dosažení ustáleného stavu. Avšak přesnost tohoto měření je vyšší i třeba u měření tepelné vodivosti izolačních materiálů, které jsou často různorodých struktur. Pro měření tepelné vodivosti za různých teplot, je potřeba zajistit proměnlivost teplot, jak na vyhřívaném, tak chlazeném povrchu zkoumaného



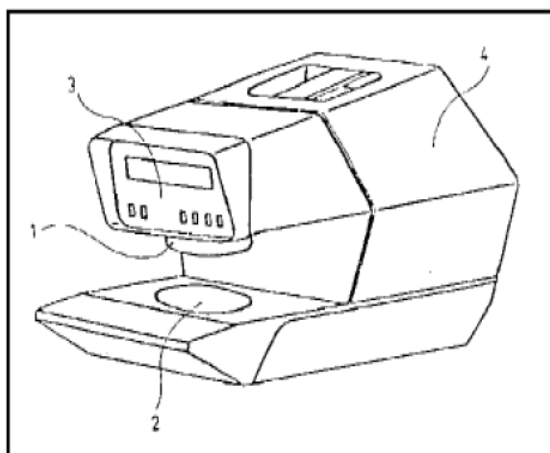
materiálu. Při měření při teplotách nad 0°C nenastávají při měření žádné větší komplikace. Větší komplikace nastávají při měření pod 0°C , kdy vzorek začne navlhat, z důsledku odebírání vlhkosti z okolního prostředí. Tento jev má za následek kolísání výsledných hodnot naměřené tepelné vodivosti. Z tohoto důvodu musí být měřicí zařízení k těmto měřením speciálně přizpůsobeno. Mezi nejznámější stacionární metody lze uvést metodiku měření dle Poensgena a Bocka, ze kterých byly odvozeny další metodiky měření tepelné vodivosti [19].

Oproti tomu měření za nestacionárních podmínek umožňuje rychlé měření, ale je zapotřebí k měření použít vzorky jen s malými chybami a celkově toto měření je oproti předešlému méně přesné. Avšak tato metoda díky rychlému a neustálenému měření umožňuje měření navlhklých vzorků textilie a díky tomu, může být zkoumán vliv vlhkosti na tepelnou vodivost. Asi jako nejznámější nestacionární metodika měření je známa metodika navržená Kawabatou a Yondeou.

Při výběru jakou z metod měření tepelné vodivosti použít, je důležité zvážit, jak přesné měření požadujeme a kolik bude měřeno vzorku s ohledem na délku jednotlivých měření. Nesmíme zapomínat, kolik také máme materiálu k měření, aby nám velikostně materiály stačili pro případnou metodiku měření [19].

1.4.1 Měřicí zařízení Alambeta

Měřicí zařízení Alambeta (obrázek 9) bylo vytvořeno pro měření tepelně komfortních vlastností textilií. Měření na tomto přístroji se řídí interní normou č. 23-304-02/01: *Měření tepelných vlastností na přístroji Alambeta*. Na přístroji je možné naměřit tyto vlastnosti: Měrná tepelná vodivost, měrná teplotní vodivost, tepelná jímavost, plošný odpor vedení tepla, tloušťka materiálu, poměr maximálního a ustáleného tepelného toku a tepelný tok [12].



- 1 vyhříváná měřicí hlavice
- 2 měřicí podložka
- 3 ovládací panel s displejem
- 4 vyhodnocovací část; umožňuje pohyb měřicí hlavy a zajišťuje její definovaný přitlak

Obrázek 9 Měřicí zařízení Alambeta [9]

Přístroj je vybaven dvěma pracovními deskami, které jsou umístěny naproti sobě. Horní deska je pohyblivá, koná přitlak materiálu ke spodní desce a je vyhřívána na teplotu 35°C. Tato teplota nahrazuje teplotu lidské pokožky. Spodní deska je pevná a je v ní umístěna měřicí podložka. Pro přitlak materiálu horní deskou ke spodní, disponuje přístroj dvěma přitlaky a to 960 Pa a 200 až 260 Pa. Možný přitlak se na přístroji nastavuje pomocí závaží, které je umístěno na zadní straně přístroje. V současné době je na přístroji nastaven přitlak 200 Pa [12].

Popis měřitelných parametrů na přístroji Alambeta

Měrná tepelná vodivost λ [W.m⁻¹.K⁻¹]

Měrná tepelná vodivost již byla popsána blíže v kapitole 1.2. Po naměření na přístroji Alambeta se naměřená hodnota musí ještě vydělit 10³.

Plošný odpor vedení tepla R [m².K.W⁻¹]

Plošný odpor byl více popsán v kapitole 1.2. I tyto data na měření na přístroji Alambeta je potřeba vydělit 10³.

Tepelný tok q [W.m⁻²]



Tepelný tok je množství tepla, které se šíří z horní pracovní desky přístroje o teplotě t_2 do textilie o teplotě t_1 za daný čas. Při krátkém kontaktu textilie s vyhřátou deskou platí vztah:

$$q = b \frac{t_2 - t_1}{\pi \cdot \tau} \quad (36)$$

Měrná teplotní vodivost a [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

Měrná tepelná vodivost vyjadřuje, jak je materiál schopný vyrovnat teplotu. Čím je naměřená hodnota vyšší, tím materiál dokáže rychleji vyrovnat teplotu (při nestacionárním procesu). Naměřené hodnoty je ještě potřeba vydělit 10^6 . Měrná tepelná vodivost je vyjádřena vztahem:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (37)$$

Kde c je měrná tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] a ρ je hustota materiálu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

Tepelná jímavost b [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}$]

Tepelná jímavost je definována jako množství tepla, které projde materiálem při rozdílu teplot 1K jednotkou plochy za daný čas, důsledkem akumulace tepla v určitém objemu. Tepelná jímavost je jakožto jediný parametr, který charakterizuje tepelný omak. Materiál, který má vyšší tepelnou jímavost, tak na dotek tento materiál pocítujeme jako chladnější, my větší absorpční schopnost [12]. Tepelná jímavost je dána vztahem:

$$b = \overline{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad (38)$$

1.4.2 Měřicí zařízení Togmeter

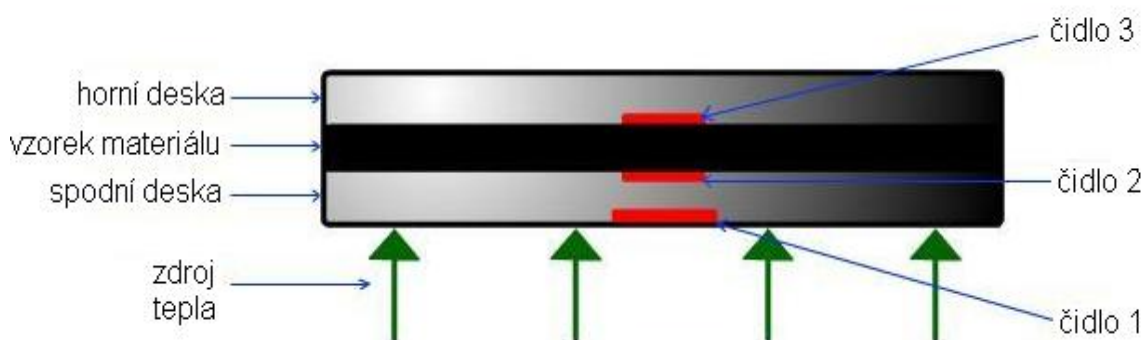
Měřicí zařízení Togmeter je vybaveno 3 teplotními čidly, za pomoci kterých je stanovena tepelná vodivost a tepelný odpor textilií. Topné těleso tohoto zařízení je ovládáno pomocí digitálního ovladače, a aby mohl být zajištěn řízený tok vzduchu, je

celé zařízení umístěno ve speciální skříňce k tomu určené. K měření se používají alespoň 3 kruhové vzorky daného měřeného materiálu o průměru 330 mm, které nejsou pomačkané a jsou bez záhybů. Dané materiály je nutno před samotným měřením 24h klimatizovat [22].

Měření na tomto zařízení lze provést dvěma způsoby:

a) Metoda měření se dvěma deskami

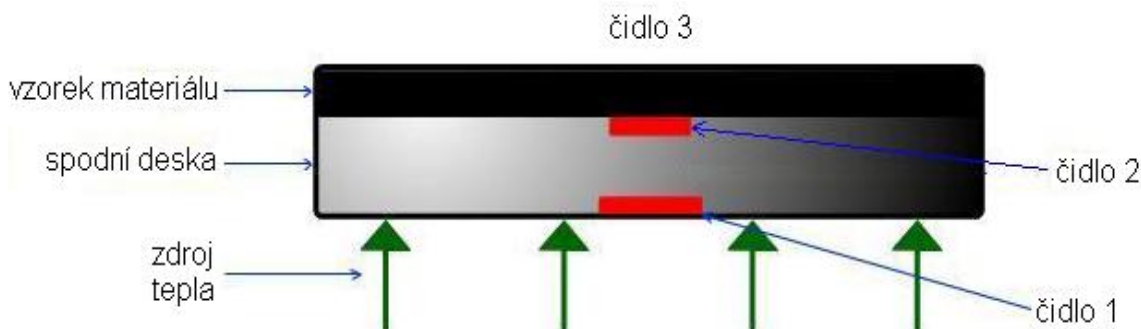
Kruhový vzorek je umístěn mezi spodní vyhřívanou deskou a horní izolovanou deskou, viz obrázek 10. Nejprve je zapotřebí zapnout topná tělesa a ponechat teplotu ustálit, až čidlo 2 ukazuje po dobu cca 30 minut teplotu v rozmezí 304 až 308 °K. Poté je zapotřebí zjistit tloušťku měřeného materiálu za pomoci elektrického tloušťkoměru SDL MO34A při přitlaku 6,9 Pa. Zjištěná tloušťka materiálu se použije k nastavení vzdálenosti horní a spodní desky Togmetru. Nyní se už jen položí zkoumaný vzorek na vyhřívanou spodní desku Togmetru, horní studená deska se přiblíží ke spodní desce na vzdálenost naměřené tloušťky materiálu a počká se, až se hodnoty všech 3 čidel ustálí. Ustálené hodnoty jsou myšleny ty, která se po dobu cca 30 minut nezmění o více než 0,1° K. Tyto hodnoty jsou potom zapsány. Doba ustálení se liší druhem měřeného materiálu a může trvat např. 2 až 3 hodiny [22, 23].



Obrázek 10 Metoda měření se dvěma deskami na přístroji Togmeter [23]

b) Metoda měření s jednou deskou

Při této metodě je zkoumaný vzorek materiálu pouze v kontaktu se spodní vyhřívanou deskou. Vzorek je položen na vytápěnou spodní desku jako u metody se dvěma deskami, ale vršek materiálu zůstane nezakrytý, viz obrázek 11.



Obrázek 11 Metoda měření s jednou deskou na přístroji Togmeter [23]

Strany vzorku je potřeba oblepit lepicí páskou. Vrchní deska je ponechána ponechaná ve skřínce s měřeným materiálem a čidlo v ní měří teplotu okolního proudícího vzduchu. Opět je zapotřebí ponechat ustálit měřené hodnoty jako v předešlém případě a až potom mohou být zaznamenány. Samotný vzduch nad zkoušeným vzorkem materiálu má značnou tepelnou odolnost a proto je zapotřebí ještě celé měření zopakovat bez vzorku materiálu, aby mohla být určena hodnota tepelného odporu vzduchu. Výsledkem tohoto měření potom je součet tepelného odporu vzduchu a tepelného odporu měřeného materiálu [22, 23].

Výpočet a vyjádření výsledků z měření na přístroji Togmeter

Před samotným výpočtem tepelného odporu samotného zkoušeného materiálu, je zapotřebí nejprve spočítat tepelný odpor R_c bez vzorku materiálu, který je dán vztahem:

$$R_c = R_s \cdot \frac{t_2 - t_3}{t_1 - t_2} \quad (39)$$



Kde:

R_c	tepelný odpor naměřený bez vzorku materiálu	$[m^2.K/W]$
R_s	tepelný odpor „standardu“, pro Togmeter používaný na TUL na katedře oděvnictví je tato hodnota 0,112	$[m^2.K/W]$
t_1	teplota zaznamenaná čidlem 1	$[^{\circ}C]$
t_2	teplota zaznamenaná čidlem 2	$[^{\circ}C]$
t_3	teplota zaznamenaná čidlem 3	$[^{\circ}C]$

Pro metodu měření se dvěma deskami, se pro výpočet tepelného odporu zkoušeného materiálu vychází ze vztahu:

$$R_f = R_s \cdot \frac{t_2 - t_3}{t_1 - t_2} - R_c \quad (40)$$

Kde:

R_f	tepelný odpor měřeného materiálu	$[m^2.K/W]$
-------	----------------------------------	-------------

Pro metodu měření s jednou deskou, se pro výpočet tepelného odporu zkoušeného materiálu vychází ze vztahu:

$$R_f = R_s \cdot \frac{t_2 - t_3}{t_1 - t_2} - R_c - R_a \quad (41)$$

Kde:

R_a	tepelný odpor okolního vzduchu	$[m^2.K/W]$
-------	--------------------------------	-------------

1.4.3 Měřicí zařízení FOX 314

FOX 314 je zařízení, které se používá pro snadné měření tepelné vodivosti podle ASTM C518 a ISO 8301 a pracuje na principu jednorozměrného Fourierova zákona. Ovládání zařízení je možné pomocí klávesnice a displeje umístěných na přední části měřicího zařízení, viz obrázek 12 nebo po připojení k počítači pomocí programu WinTherm 32. Přístroj musí být po celou dobu měření připojen k vodě. Měřicí zařízení je vybaveno

dvěma deskami, mezi které je umístěn měřený materiál. Tyto desky jsou umístěny za dvířky vzorkové komory. Horní deska je pevná a spodní deska je určená k pohybu. Obě desky mají možnost být vyhřívány nebo chlazeny a tak si obsluha může zvolit, zda tepelný tok bude nahoru či dolů. Teplotní rozsah desek se pohybuje od -20°C do 75°C . Zařízení je schopné naměřit tepelnou vodivost u vzorku od tloušťky 0,025 mm, takže je vhodný pro měření tenkých materiálů. Těsně pod povrchem desek jsou zabudována teplotní čidla, která zaznamenávají teplotu s přesností $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$. Rohy spodní desky jsou opatřeny digitálními senzory tloušťky a sledují polohu této desky s přesností $\pm 0,025$ mm. FOX 314 umožňuje měření tepelné vodivosti standardně v rozsahu od 0,005 až $0,35 \text{ W/m K}$. S připojením externího termočlánku Kit umožní naměření tepelné vodivosti až v rozsahu 0,001 až $2,5 \text{ W/m K}$. Pro měření se používají vzorky o velikosti 300 x 300 mm [24, 25].



Obrázek 12 Měřicí zařízení FOX 314 [18]

Před samotným měřením se nejprve zkontroluje připojení měřicího zařízení k vodě. Po zapnutí přístroje je nutné nejdříve provést jeho kalibraci. Pro kalibraci je možné použít speciální vzorek materiálu se známou tepelnou vodivostí nebo lze provést automatickou kalibraci pomocí počítače. Po zkalibrování je zřízení připraveno k měření. Otevřou se dvířka vzorkové komory, zkoušený materiál se položí na spodní desku a dvířka se opět uzavřou. Pro stanovení tepelné vodivosti zkoušeného materiálu je zapotřebí znát jeho tloušťku, která se zadá měřicímu zařízení. Pokud tloušťka zkoušeného vzorku není známa, přístroj ji před samotným měřením tepelné vodivosti naměří. Po zadání tloušťky materiálu je ještě zapotřebí přístroji zadat teplotu obou

desek a tím je i udán směr tepelného toku materiálem. Délka jednoho měření se odvíjí od tloušťky zkoumaného materiálu a pohybuje se okolo 1h. Měřicí zařízení vypočítá tepelnou vodivost zkoumaného materiálu ze vztahu [24]:

$$\lambda_{\text{test}} = \frac{S_{\text{cal}} \cdot T \cdot Q \cdot \Delta x_{\text{test}}}{\Delta T} \quad (42)$$

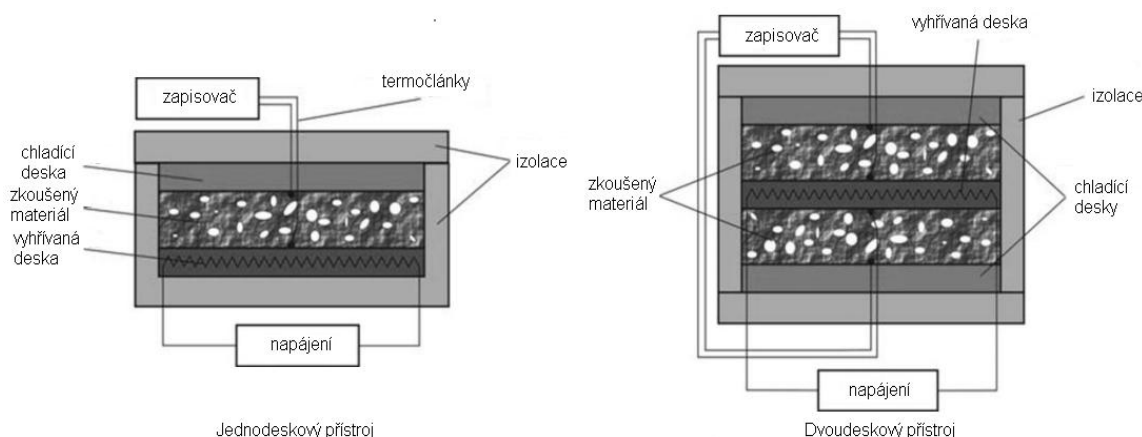
Kde:

λ_{test}	tepelná vodivost zkoumaného materiálu	[W/m K]
$S_{\text{cal}}(T)$	kalibrační faktor tepelného toku převodníku	[W.m ⁻² .μV ⁻¹]
Q	elektrický signál z převodníku	[μV]
Δx_{test}	tloušťka vzorku materiálu	[m]
ΔT	rozdíl teplot	[K]

Přístroj spočítá tepelnou vodivost pro spodní i horní desku a výsledná tepelná vodivost zkoušeného materiálu je průměr z těchto dvou hodnot [24].

1.4.4 Deskový přístroj podle Poensgena

Tento navržený přístroj slouží k měření tepelné vodivosti vláknitých nebo sybkých materiálů. Měření touto metodou probíhá dle normy ČSN 72 7012. Rozeznáváme dva typy přístroje. První zkonstruovaný Poensgenův přístroj byl dvoudeskový a k měření se používají dva vzorky materiálu. Z tohoto zařízení postupem času byl vytvořen Poensgenův jednodeskový přístroj a k měření se používá jeden vzorek materiálu. Obě zařízení jsou na obrázku 13 [19].



Obrázek 13 Schéma Poensgenova dvoudeskového a jednodeskového přístroje [20]

Poensgenův dvoudeskový přístroj je složen z jedné vyhřívané desky a dvou chladících desek, viz obrázek 13. Jak topná tak i chladící desky jsou nejčastěji z mědi nebo hliníku, kvůli dobré tepelné vodivosti a měly by vyrovnat případné teplotní výkyvy v celé měřené ploše. Topná deska je umístěna do středu a má velikost 500 x 500 mm a vyhřívání je zajištěno pomocí elektrické vyhřívané mřížky. Z obou stran je na desku přiložen zkoušený materiál o rozměrech stejných, jako má vyhřívána deska a tloušťka zkoušeného materiálu by neměla přesáhnout 100 mm. Z druhé strany jsou na zkoumaný materiál přiloženy v přímém kontaktu chladící desky, ke jejich chlazení na požadovanou teplotu zajišťuje protékající voda. Aby bylo zabráněno úniku tepla z vyhřívané desky jejím obvodem, je po obvodu deska opatřena kompenzačním pásem okolo celého jejího obvodu. Kompenzační pás má vlastní okruh a je kontrolován pomocí teplotních čidel, aby byla jeho teplota stále stejná jako teplota vyhřívané desky. Celé měřicí zařízení je uloženo ve speciální skříni a je odizolováno od okolního prostředí vhodným izolačním materiálem. Měří se teploty vyhřívané desky na obou površích, kde je deska v kontaktu s měřeným materiálem a dále se měří teplota chladících desek, opět v místech kontaktu s měřeným materiálem. Měření teplot je zajištěno pomocí měřících termočlánků. Naměřené výsledné hodnoty jsou zaznamenány a použity pro výpočet tepelné vodivosti. V tomto přístroji lze měřit v rozpětí teplot 0 až 1000 °C. Délka měření se odvíjí od výšky střední teploty a někdy může trvat i několik dní. Pro výpočet tepelné vodivosti pro tento druh měření, se používá vztah [19, 26]:



$$\lambda = \frac{0,86.E.J.s}{2F.(t_1-t_2)} \quad (43)$$

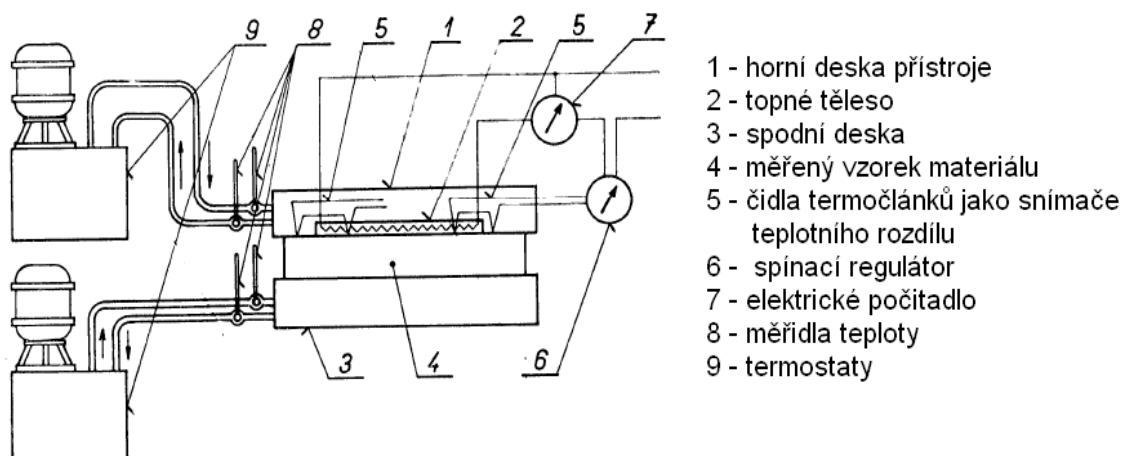
Kde:

λ	tepelná vodivost zkoumaného materiálu	[kcal/mh°C]
E	proud pro vyhřívanou desku	[V]
J	napětí pro vyhřívanou desku	[A]
s	tloušťka zkoušeného materiálu	[m]
F	plocha zkoušeného vzorku	[m ²]
t_1	teplota povrchu zkoušeného materiálu na vyhřívané straně	[°C]
t_2	teplota povrchu zkoušeného materiálu na chlazené straně	[°C]

Poensgenův jednodeskový přístroj je velice podobný původnímu dvoudeskovému přístroji, jen se zde měří jen jeden vzorek materiálu. Horní část zařízení se nemění a místo spodní části je umístěna další výhřevná deska, která má zabránit ztrátám tepla spodní částí zařízení a je vyhřívána na stejnou hodnotu jako topná deska. Zařízení je opět umístěno ve speciální skříni a je odizolováno od okolního prostředí vhodným izolačním materiálem. Jinak je zařízení shodné s předchozím. Při výpočtu tepelné vodivosti touto metodou se postupuje jako v předchozím případě, jen v početním vztahu nebude jmenovatel obsahovat 2, jelikož se zde měří jen jeden vzorek materiálu [19, 26].

1.4.5 Měřicí zařízení dr. Bocka

Postup měření na tomto přístroji se řídí normou ČSN 72 7015. Měřicí zařízení dr. Bocka vychází z Poensgenovy metody, kde teplo kolmo prochází skrz měřený materiál od vyhřívané desky k chladnější desce přístroje. Samotné měření probíhá za ustáleného stavu a tímto zařízením lze měřit tuhé, vlákenné i sypké materiály o tepelné vodivosti v rozsahu 0,025 až 1,7 W/m K. Celý přístroj je uspořádán do podoby laboratorního stolu, je částečně automatizován a jeho zjednodušené schéma je na obrázku 14 [19].



Obrázek 14 Schéma měřicího přístroje dr. Bocka [21]

Vrchní dutá deska je vyhřívána a spodní dutá deska je ochlazována, tím pádem tepelný tok proudí opačně oproti Poensgenově metodě. Desky mají rozměr 250 x 250 mm a to je i velikost vzorků zkoušeného materiálu. Vrchní vyhřívaná deska se skládá ze dvou částí a obě části jsou od sebe odděleny vhodným izolačním materiálem. Uvnitř desky je vloženo elektrické topné těleso o průměru 160 mm, které zajišťuje požadovanou teplotu povrchu desky. Teplota horní desky je kontrolována pomocí termočlávkové baterie, která dává impuls k případnému dohřátí desky. Druhá část horní desky je ochranná dutá deska, která prstencovitě obklopuje měřicí desku a je naplněna kapalinou. Kapalina je ohřívána v termostatu na teplotu topného tělesa, zabodovaného v horní desce. Teplota kapaliny se kontroluje na vstupu a výstupu z horní desky. Tímto způsobem je vyloučený únik tepelného toku jiným směrem, než je skrz zkoušený materiál kolmo ke spodní chlazené desce přístroje. Spodní deska je také dutá a její ochlazování je zajištěno protékající kapalinou. Požadovaná teplota kapaliny je opět zajištěna pomocí termostatu. Teplota kapaliny je i v tomto případě měřena na vstupu a výstupu z desky. Teplota obou desek se odvíjí od dosažitelné teploty kapaliny. Když bude použita vhodná kapalina, může se teplota spodní desky pohybovat i pod 0°C. Nejčastěji se teplota vrchní desky pohybuje okolo 20 až 35 °C a teplota spodní desky okolo 10 až 25 °C. Výrobce je doporučeno, že teplotní rozdíl mezi horní a dolní deskou by měl být, alespoň 10 °C. Teploty povrchu vzorku se nepřímou stanovují pomocí teploty kapalin na vstupu a výstupu z obou desek. Tyto naměřené teploty jsou použity pro výpočet tepelného spádu ve zkoumaném vzorku. Pro výpočet tepelné

vodivosti materiálu touto metodou je potřeba ještě znát množství tepla procházející měřeným vzorkem. Pro jeho výpočet je počítačem zajištěno měření elektrického příkonu topného tělesa. Samotný výpočet tepelné vodivosti se potom provede pomocí vztahu [19, 26]:

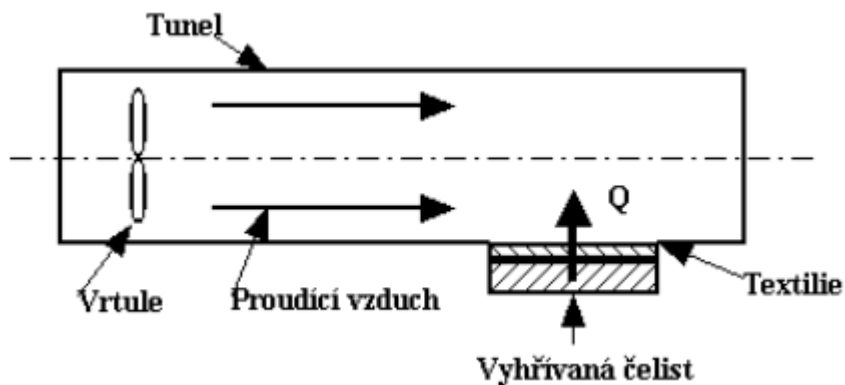
$$\lambda = \frac{Q \cdot s}{\Delta t - Q \cdot w} \quad (44)$$

Kde:

λ	tepelná vodivost zkoumaného materiálu	[kcal/mh°C]
Q	množství tepla procházející vzorkem	[kcal/m²h]
s	tloušťka zkoušeného materiálu	[m]
Δt	teplotní spád ve zkoušeném materiálu	[°C]
w	konstanta přístroje udávaná výrobcem	[-]

1.4.6 Přístroj na měření tepelné propustnosti TP-2

Měření na přístroji Tp-2 slouží pro měření tepelné propustnosti za stacionárního vedení tepla zkoušeným materiálem. Teplo prochází od vyhřívané desky, na které je položen zkoušený materiál, do čtverhranného tunelu ve kterém proudí od ventilátoru vzduch rychlostí nejčastěji 3 m/s. Minimální velikost vzorků pro měření je 120 x 120 mm. Vzorek je do tunelu přitlačován vyhřívanou deskou o přtlaku cca 5N. Rychlost vzduchu je možné nastavit v rozmezí 1 až 3,5 m/s. Vyhřívaná deska je ohřáta na teplotu 35 °C a okolní teplota se pohybuje mezi 21 a 23 °C. Princip měření je založen na zjištění příkonu vyhřívané desky, aby se teplota této desky udržela na hodnotě 35°C. Výsledná hodnota tepelné propustnosti se po ustálení tepelného toku zobrazí na displeji měřícího zařízení. Doba měření se odvíjí od tloušťky zkoušeného materiálu a může trvat 5 až 60 minut. Na přístroji lze měřit materiály o tloušťce maximálně 100 mm v rozsahu měřené veličiny od 5 do 30 W/m²K s přesností +/- 0,5 W/m²K. Schéma tohoto měřícího zařízení je na obrázku 15 [27,28].



Obrázek 15 Schéma měřicího zařízení TP-2 [27]

Z naměřené tepelné propustnosti lze za známé hodnoty tloušťky měřeného materiálu dopočítat tepelnou vodivost pomocí vztahu:

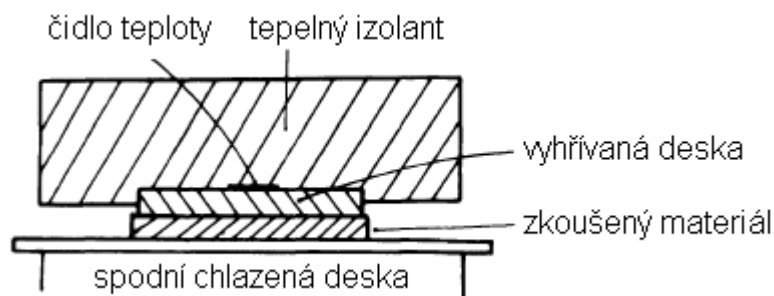
$$\lambda = T_p \cdot h \quad (45)$$

Kde:

λ	tepelná vodivost zkoumaného materiálu	[W/mK]
T_p	naměřená tepelná propustnost na přístroji Tp-2	[W/m ² K]
h	tloušťka materiálu	[m]

1.4.7 Metodika měření dle Kawabaty a Yondey

V tomto případě se jedná o metodiku nestacionárního přenosu tepla, kdy se teplota v průběhu měření mění. Princip měření je založen na měření času, který je potřebný k ochlazení a ustálení předem vyhřáté horní destičky na určitou teplotu, kdy tepelný tok proudí do zkoušeného materiálu. Princip měření je uveden na obrázku 16 [29].



Obrázek 16 Schéma měření dle Kawabaty a Yondey [29]

Materiál je položen na spodní měděnou desku, která je dutá a proudí v ní voda, která zajistí konstantní teplotu této desky. Teplota desky odpovídá pokojové teplotě, tedy nejčastěji 22 až 24°C. Horní vyhříváná deska je z měděného plechu o tloušťce asi 1 mm a rozměrech 30 x 30 mm. Tato deska je vyhřívána na teplotu 5 až 10 °C vyšší než je teplota spodní desky. Strana horní desky, která není v kontaktu s měřeným materiálem, je zaizolována tvrdou polystyrenovou pěnou proti úniku tepelného toku tímto směrem. Po vyhřátí horní desky na požadovanou teplotu, je přiložena na zkoušený materiál a sleduje se doba, za kterou se vyhříváná deska ochladí a ustálí na dané hodnotě. Po tuto dobu se měří množství tepelného toku, který projde skrz zkoušený materiál. Tepelný tok se získá rozlišenými elektrickými signály z křivky teplotního spádu. Vzorky zkoušených materiálů musí být velikosti 30 x 30 mm a lze měřit materiály o tloušťce od 0,1 do 2 mm. Délka měření se odvíjí od tloušťky a vlastností zkoušeného materiálu a trvá řádově několik desítek vteřin maximálně několik minut [29].

1.4.8 Metoda DTZ

Metoda DTZ je srovnávací metoda, která se používá k posuzování tepelně izolačních vlastností textilií. Jedná se o novou metodiku, kterou navrhl a používá Inženýr Hanuš z naší univerzity. Metodika je založena na porovnávání dat dynamiky teplotní změny (DTZ) čidla Dataloggeru, které je umístěno v zaizolovaném prostředí zkoušeného materiálu. Používané čidlo k měření teplotních změn je obrázku 17.



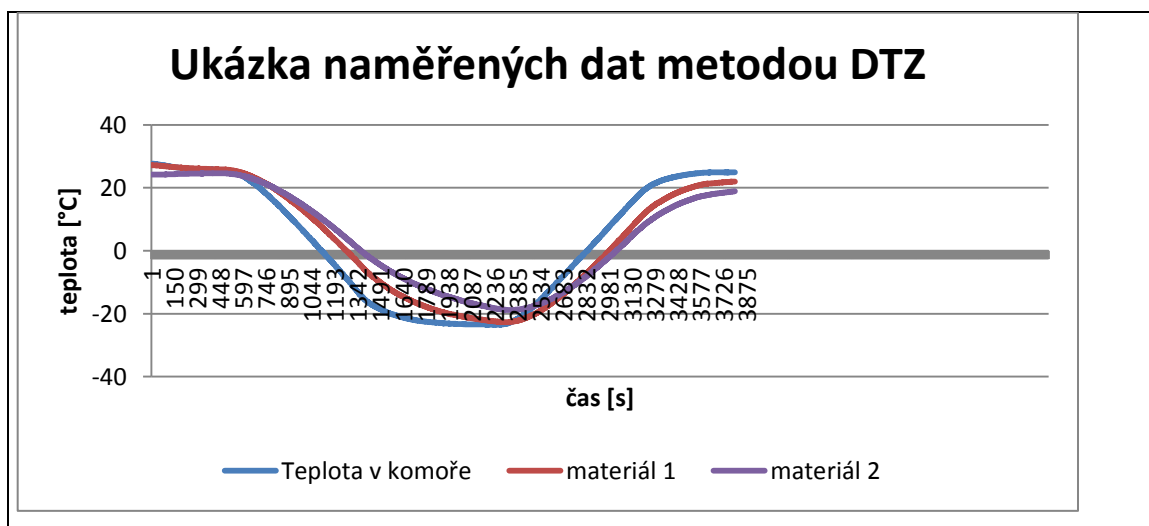
Obrázek 17 Měřicí zařízení Datalogger Volcraft DL-121TH [30]

Toto zařízení slouží ke sledování a zaznamenávání změn teploty a vlhkosti za daný čas, díky možnosti připojení tohoto zařízení k počítači pomocí rozhraní USB. Datalogger má rozměry 98 x 26 x 26 mm a lze s ním měřit teplotu od -40 do 70 °C a vlhkost od 0 do 100 %. Teplotu měří s přesností ± 1 °C a vlhkost s přesností ± 3 % s rozlišením 0,1 °C a % vlhkosti. Datalogger disponuje pamětí k uložení 16000 dat teploty a 16000 dat vlhkosti, které může zaznamenávat v časovém intervalu od 2 s do 24 h. Napájení tohoto zařízení je pomocí 3,6 V baterie, tudíž k napájení není potřeba přívodního kabelu [30,31].

Postup při posuzování tepelně izolačních vlastností pomocí Dataloggeru je následující. Ze zkoumané textilie jsou vystřiženy dva vzorky textilie o velikosti 250 x 250 mm. Tyto dva vzorky textilie jsou k sobě slepeny po okrajích pomocí oboustranně lepící pásky a do vytvořené „kapsy“ mezi materiály jsou vloženy dva Dataloggery, které budou zaznamenávat měnící se teplotu uvnitř materiálu. Před samotným vložením Dataloggerů mezi měřený materiál, musí být oba připojeny k počítači, kde se spustí zaznamenávání dat a nastaví interval snímání hodnoty teploty. Nejčastěji se pro tuto metodiku používá interval snímání dat každé 2 s. Umístění dvou Dataloggerů mezi zkoušený materiál je z důvodu kontroly přesnosti měření. Zkoušený materiál i s Dataloggery je potom umístěn do klimatické komory T400/100, v které se dá nastavit teplota s přesností 0,3 °C. Třetí Datalogger je umístěn volně v klimatické komoře a zaznamenává teplotu v prostoru klimatické komory. V klimatické komoře je poté zapnut program, kdy je vzduch uvnitř komory ochlazen na hodnotu - 20 °C a po dosažení této hodnoty je opět ohříván na teplotu 20 °C. Při dosažení této teploty vzduchu v klimatické komoře je komora vypnuta. Naměřená data jsou potom nahrána do počítače a výsledkem měření jsou potom data popisující závislost teploty na čase zaznamenané Dataloggery mezi zkoušeným materiálem. V počátku této metodiky byly teploty

vyhodnocovány v úseku od vložení Dataloggerů do klimatické komory, v které byla dopředu ustálena hodnota na teplotě 20 °C do teploty -20 °C. Od této metodiky bylo ustoupeno, jelikož při vkládání materiálu s Dataloggery do klimatické komory došlo ke změně teploty uvnitř komory a proto nebyla pro všechny materiály stejná výchozí teplota. Z tohoto důvodu se přešlo na metodiku, kdy se pro posuzování tepelně izolačních vlastností bere úsek naměřených dat, kdy je v komoře teplota – 20 až 20 °C. Při tomto způsobu je zaručeno, že se pro vyhodnocování všech materiálu vždy vychází ze stejné teploty a na stejné teplotě se končí. Při porovnání naměřených dat pomocí Dataloggerů umístěných mezi zkoušenými materiály, lze vybrat materiál, který má lepší či horší izolační vlastnosti. K číselnému vyjádření lze například použít dobu potřebnou k nárůstu teploty ve stanoveném intervalu. Například dobu potřebnou pro nárůst teploty od -15 do 0 °C. Může být také vyjádřena časem, který je nutný k vyrovnání teploty Dataloggerů uvnitř „kapsy“ a zvenčí kapsy, což může být v případě dobře izolujících materiálů časově náročné. K vyhodnocování též může být použita směrnice přímky, která prochází krajními body zkoumaného intervalu teploty atd. [30,31].

Pro ukázkou měření touto metodou byly poskytnuty panem Inženýrem Hanušem naměřené hodnoty teploty dvou nejmenovaných materiálů, u kterých bylo zjišťováno, který z materiálů má lepší izolační vlastnosti. Naměřené hodnoty byly vyneseny do grafu 1.



Graf 1 Naměřené hodnoty teploty metodikou DTZ pro posouzení izolačních vlastností materiálů



Z naměřených dat je patrné, že lepší tepelně izolační vlastnosti má materiál 2. Výhodou této metodiky je, že vcelku rychlá a snadná pro posouzení tepelně izolačních vlastností různých materiálů. Další výhodou je, že izolační schopnosti díky klimatické komoře mohou být zjišťovány při různých okolních teplotách. Jako malá nevýhoda se tu jeví malá přesnost měření Dataloggerů v případě, že by byly zjišťovány tepelné izolační schopnosti u dvou podobně izolujících materiálů.

Měřicích zařízení na měření a vyhodnocování tepelně izolačních schopností je mnoho. Jako další by zde mohly být uvedeny například zařízení TCI a Skin model, které mají na Katedře oděvnictví. Pro zjišťování tepelně izolačních vlastností se též používá vyhřívaná figurína – manekýn. Kde manekýna představuje vyhřívaný válec na danou teplotu na kterém je navlečena zkoušená textilie. Více o této metodice je uvedeno v literatuře [32, 33, 34].

2 Experimentální část

Experimentální část se zabývala měřením tepelné vodivosti, tepelné propustnosti a prodyšnosti na běžných přístrojích jako je Alambeta, FX 3300 a přístroj Tp-2 za běžných laboratorních podmínek. Na těchto přístrojích byly odměřeny a vyhodnoceny vybrané vzorky textilií.

Další část je věnována návrhu a zkoušení nového měřicího zařízení na měření tepelných ztrát za nízkých teplot s různou rychlostí proudícího vzduchu s ohledem na získané informace z rešeršní části. Jsou zde popsány možné metodiky měření a způsoby vyhodnocování získaných dat z tohoto zařízení. Pro ukázkou měření a vyhodnocování dat na zmiňovaném zařízení jsou použity materiály, které byly odměřeny na předchozích zmiňovaných zařízeních.

V samotném závěru práce jsou shrnuty výsledky z experimentální části a případné další možné kroky s navrhnutým měřicím zařízením.

2.1 Vybrané materiály pro experimentální část a jejich charakteristiky

Pro experimentální část byla snaha vybrat materiály o různé tloušťce, materiálovém složení, pórovitosti a pro různé použití.

Nejprve byly vybrány materiály, které by mohly být použity například pro výrobu funkčních trik. Jedná se o jednolícni a oboulícni pleteniny, které jsou včetně údajů od výrobce uvedeny v tabulce 2. Tyto materiály by měly pomoci odvézt od těla vlhkost vyprodukovanou nositelem při dané námaze.

Tabulka 2 Zvolené pleteniny pro experimentální část a jejich charakteristiky udané výrobcem

Materiál	Vazba	Barva	Materiálové složení	Plošná hmotnost (výrobce) [g/m ²]
JC 1101	Jednol. – elast.	černá	91% PES Lycra T400 / 9% Lycra	155
DLC 921	Doubleface - filet	modrá	100% PAD	129

Parametry nití udávané výrobcem, z kterých byly, tyto jednotlivé pleteniny zhotoveny jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3 Parametry nití udávané výrobcem

Materiál	Jemnost	Počet fibril	Zákrut
Standardní PAD 6.6	78 dtex	68/1	-
Lycra T400 = polyester	83 dtex	34	-

Za pomoci paní Ing. Grabmüllerové z katedry materiálového inženýrství byly na rastrovacím elektronovém mikroskopu od firmy Proxima provedeny podélné a příčné řezy jednotlivých přízí, aby bylo blíže určeno, jaké materiály byly do zkoumaných pletenin použity. Podélné a příčné řezy standardního polyamidu 6.6 a Lycra T400 jsou uvedeny v příloze 1. Ze zhotovených řezů bylo zjištěno, že Lycra T400 je standardní polyester a název Lycra T400 je jen jeho obchodní název.

Dalším krokem bylo ověření plošné hmotnosti udávané výrobcem. Měření plošné hmotnosti bylo provedeno dle normy ČSN EN 12127. Naměřené hodnoty plošné

hmotnosti jsou uvedeny v příloze 2. Tyto hodnoty byly statisticky zpracovány v programu QC Expert a jsou uvedeny též v příloze 2.

Po porovnání naměřených dat plošné hmotnosti a hmotnosti udávané výrobcem se ukázalo, že rozdíl u materiálu JC 1101 je statisticky významný a u materiál DLC 921 je statisticky nevýznamný. Ke vzniklým odchylkám mohlo dojít díky nepřesnému měření a to jak na straně výrobce či mě. Pro další výpočty budou brány hodnoty mnou naměřené plošné hmotnosti.

Jako další materiály pro experimentální část byly vybrány materiály, které se vykazují větší tloušťkou a mohly by být použity jako tepelná izolace, viz tabulka 4.

Tabulka 4 Zvolené tepelné izolace pro experimentální část

Materiál	Barva	Materiálové složení	Naměřená σ plošná hmotnost [g/m ²]
Rotis	bílá	Fibertex - Polyamid 6.6	493,1
	zelená	Polartec ALPHA - Polyester	
Struto	bílá	70% Polypropylen, 30% PES	410,1



Obrázek 18 Materiál rotis



Obrázek 19 Struto

Materiál Rotis je složen ze tří vrstev a to ze dvou bílých vrstev polyamidu 6.6 a z prostřední zelené vrstvy Polartecu Alpha. Materiál byl vytvořen Ing. Hanušem na stroji ROTIS II, který je určen pro formování 3D produktů tloušťky 4 až 7 mm. V tomto zařízení byly vrstvy textilie naformovány do skladů specifického tvaru a výšky. Výsledný materiál byl zafixován pomocí tzv. kvazi – přízí, které byly vytvořeny na povrchu textilie pomocí speciálních elementů. Pro výpočet tepelné vodivosti materiálu a hustoty textilie bylo potřeba zjistit, jaké množství z celkového objemu textilie zabírá polyamidové vrstvy a kolik vrstva polyesteru. Pro určení byl vystřížen vzorek materiálu 10 x 10 cm a ten byl zvážen na laboratorních vahách. Byla naměřena váha 48g. Poté byly snadno odděleny od tohoto vzorečku vrstvy polyamidu a též zváženy. Vrstvy vážily 30,7g. Poté bylo dopočítáno, že textilie je ze 36 % zastoupena polyesterem a ze zbylých 64 % je zastoupena polyamidem.

Materiál Struto pro experimentální část zhotovil Bc. Sanetrník z katedry netkaných textilií a nanovláknenných materiálů. U obou těchto materiálů byly opět zhotoveny příčné a podélné pohledy jejich vláken, kde je ověřeno, o jaký materiál se jedná a též u nich je naměřena i jejich plošná hmotnost. Zhotovené příčné a podélné řezy materiálů jsou uvedeny v příloze 1 a naměřené a statisticky zpracované hodnoty plošné hmotnosti jsou uvedeny v příloze 2.

Jako další zástupce pro experimentální část byla vybrána textilie z počesané bavlny. Tato textilie byla vybrána jako zástupce obyčejných jednoduchých tkanin a její

parametry jsou uvedeny v tabulce 5. I u té byl zhotoven podélný a příčný řez, viz příloha 1 a byla naměřena a statisticky zpracována plošná hmotnost, která je uvedena v příloze 2.

Tabulka 5 Počesaná bavlna pro experimentální část

Materiál	Barva	Materiálové složení	Naměřená a plošná hmotnost [g/m²]
<i>Počesaná bavlna</i>	bílá	Bavlna	133,94

Jako poslední materiál pro experimentální část byl vybrán materiál Milife ve dvou variantách. V první variantě se jedná o čistý materiál Milife o plošné hmotnosti udávané výrobcem 10 g/m² a jako druhý je tento materiál Milife pokovený mědí. Materiál Milife nemohl být pro svou nízkou tloušťku odměřen na přístroji Alambeta, ale mohl být odměřen v nově zkonstruovaném zařízení na měření tepelně izolačních vlastností. Pro výpočet tepelné vodivosti a hustoty pokoveného Milife, bylo potřeba znát zastoupení mědi v textilií. Pro určení obsahu mědi byly použity plošné hmotnosti čistého a pokoveného Milife, které od sebe byly odečteny. Potom bylo dopočítáno, že pokovené Milife obsahuje 35,7 % mědi. Parametry tohoto materiálu jsou uvedeny v tabulce 6. Podélné a příčné řezy materiálu Milife jsou uvedeny v příloze 1 a naměřené a statisticky zpracované hodnoty plošné hmotnosti jsou uvedeny v příloze 2. Po porovnání naměřené plošné hmotnosti s hodnotou udávanou výrobcem se ukázalo, že rozdíl je statisticky významný. Pro další výpočty je brána hodnota mnou naměřené plošné hmotnosti.

Tabulka 6 Materiál Milife pro experimentální část

Materiál	Barva	Materiálové složení	Naměřená a plošná hmotnost [g/m²]
Milife nepokovené	bílá	100% Polyester	10,58
Milife pokovený	hnědá	64,3 % PES a 35,7 % CU	16,46



Pro použitá vlákna v textiliích pro experimentální část, byly v tabulkách dohledány hodnoty hustoty vláken a tepelná vodivost vláken. Nalezené tabulkové hodnoty byly použity pro výpočet tepelné vodivosti, kde textilie obsahuje dva typy vláken, a jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7 Tabulkové hodnoty hustoty a tepelné vodivosti vláken

vlákno	Hustota vláken [kg/m³]	Tepelná vodivost λ [W/K.m]
<i>Polyester</i>	1390	0,218
<i>Polyamid</i>	1140	0,25
<i>Lycra</i>	1210	0,147
<i>Bavlna</i>	1520	0,352
<i>Polypropylen</i>	910	0,19
<i>Měď</i>	8960	380

U všech materiálů, použitých pro experimentální část byla ještě naměřena tloušťka materiálu na tloušťkoměru Schmidt při přtlaku 0,1 kPa na katedře Materiálového inženýrství. Měření tloušťky bylo u každého materiálu provedeno 10 x. Naměřené hodnoty z tloušťkoměru jsou uvedeny v příloze 3 a statisticky zpracované hodnoty jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka 8 Statisticky zpracované hodnoty tloušťky materiálu naměřené na tloušťkoměru Schmidt v mm

Materiál	Ø [mm]	Spodní mez 95% IS střední hodnoty	Horní mez 95% IS střední hodnoty	Rozptyl	Směr. odchylka	Var. koeficient
<i>JC 1101</i>	0,447	0,444	0,450	2.E ⁻⁵	0,005	1,081
<i>DLC 921</i>	0,702	0,697	0,707	4.E ⁻⁵	0,006	0,901
<i>Bavlna</i>	0,499	0,489	0,509	2.E ⁻⁴	0,014	2,746
<i>Rotis</i>	6,563	6,510	6,616	0,006	0,075	1,138
<i>Struto</i>	19,990	19,695	20,285	0,170	0,412	2,062
<i>Milife nepok.</i>	0,058	0,044	0,072	4.E ⁻⁴	0,020	34,291
<i>Milife pok.</i>	0,068	0,056	0,080	3.E ⁻⁴	0,016	23,814

2.2 Měření prodyšnosti a tepelných vlastností materiálů na vybraných přístrojích dostupných na TUL

2.2.1 Měření na přístroji FX 3300

K měření prodyšnosti při daném přitlaku byl vybrán přístroj FX 3300, který se nachází také na Katedře hodnocení textilií. Tyto vzorky byly ponechány 24h před samotným měřením v laboratorních podmínkách.

Při měření prodyšnosti na tomto přístroji bylo postupováno dle přiloženého návodu. Všechny zvolené textilie byly odměřeny při přitlaku 50 Pa, 100 Pa a 200 Pa. Pro každou vybranou textilií bylo při daném přitlaku provedeno 5 měření. U materiálů milife nelze prodyšnost na tomto přístroji naměřit, proto zde jejich hodnoty nejsou uvedeny. Každé měření bylo provedeno na jiné části textilie, aby byla zajištěna objektivnost měření. Naměřené hodnoty z tohoto zařízení a jejich statisticky zpracované hodnoty jsou uvedeny v příloze 4. V tabulce 9 jsou uvedeny vypočítané průměrné hodnoty naměřené prodyšnosti při daném přitlaku. Teplota v laboratoři při měření byla 23,0°C a vlhkost vzduchu 58%.

Tabulka 9 Vypočítané průměrné hodnoty prodyšnosti naměřené na přístroji FX 3300

Materiál	Prodyšnost při přitlaku 50Pa [1/m ² /s]	Prodyšnost při přitlaku 100Pa [1/m ² /s]	Prodyšnost při přitlaku 200Pa [1/m ² /s]
<i>JC 1101</i>	329,5	597,0	1155,0
<i>DLC 921</i>	1060,0	1785,0	3040,0
<i>Bavlna</i>	351,6	656,0	1044,0
<i>Rotis</i>	367,8	668,2	1212,0
<i>Struto</i>	711,6	1588,0	2536,0
<i>Milife nep.</i>	Nelze	Nelze	Nelze
<i>Milife pok.</i>	Nelze	Nelze	Nelze

Aby mohly být do grafu vyneseny hodnoty prodyšnosti naměřené na přístroji FX3300 bylo potřeba nejprve spočítat objemovou porozitu, na které jsou hodnoty do



grafu vyneseny. Pro výpočet objemové porozity bylo potřeba znát hustotu vláken a hustotu textilie. Jelikož některé textilie obsahují více druhů vláken, bylo u nich potřeba vypočítat hustotu směsi vláken. Při výpočtu hustoty směsi vláken se vycházelo z rovnice 25.

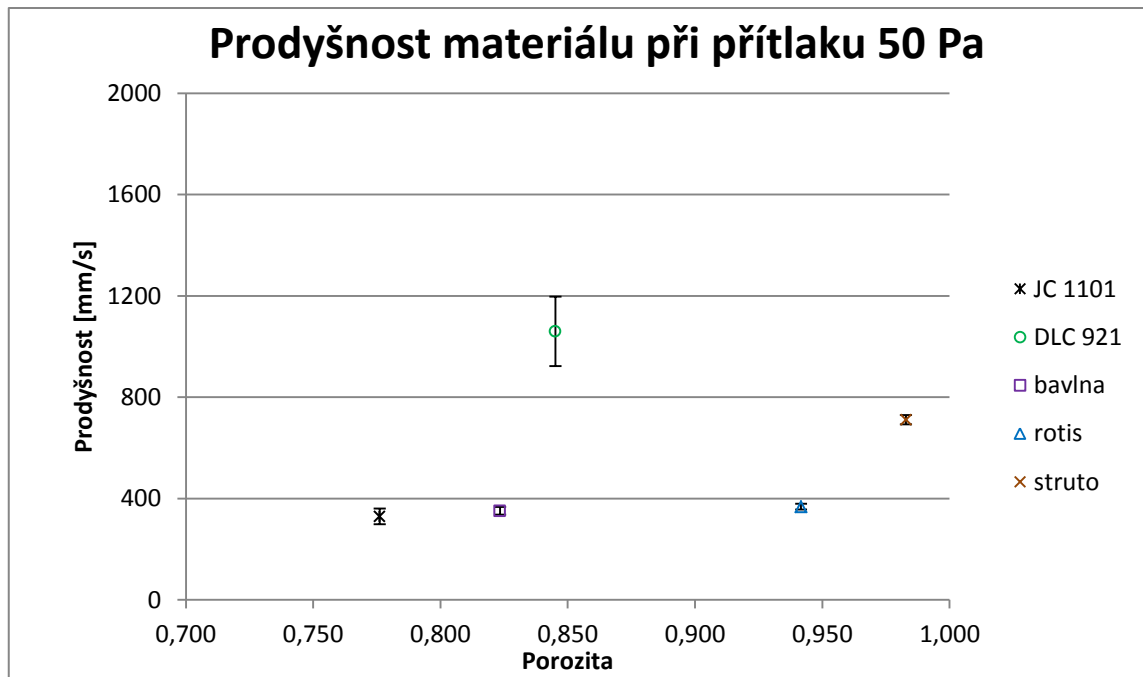
Za použití hodnot naměřené plošné hmotnosti na vahách Sartorius a hodnot tloušťky materiálu z tloušťkoměru byla pomocí rovnice 26 dopočítána hustota tkaniny.

Z vypočítaných hodnot hustoty vláken a hustoty textilie byla za pomoci rovnice 27 dopočítána objemová porozita. Vypočítané hodnoty hustoty vláken, hustoty tkaniny a objemové porozity pro jednotlivé materiály jsou uvedeny v tabulce 10.

Tabulka 10 Vypočítané hodnoty hustoty vláken, hustoty tkaniny a objemové porozity

Materiál	Hustota vláken [kg/m³]	Hustota tkaniny [kg/m³]	Objemová porozita [-]
<i>JC 1101</i>	1372	307,16	0,776
<i>DLC 921</i>	1140	176,50	0,845
<i>Bavlna</i>	1520	268,42	0,823
<i>Rotis</i>	1288,29	75,13	0,942
<i>Struto</i>	1200,09	20,52	0,983
<i>Milife nepokovené</i>	1390	182,41	0,869
<i>Milife pokovené</i>	3043,23	242,06	0,920

V grafu 2 jsou vyneseny naměřené hodnoty prodyšnosti materiálu při přítlaku 50 Pa na porozitě materiálu. Grafy pro přítlak 100 a 200 Pa jsou vyneseny v příloze 4.



Graf 2 Naměřené hodnoty prodyšnosti materiálu při přítlaču 50 Pa

Je známo, že se zvyšující se porozitou materiálu by se měla zvyšovat i prodyšnost materiálu. V sestrojeném grafu této teorii neodpovídá materiál DLC921, kde jeho vyšší prodyšnost je dána odlišností struktury. Nejvyšší prodyšnost byla naměřena u materiálu struto.

2.2.2 Měření na přístroji Alambeta

Vzorky textilie byly odměřeny na měřícím zařízení Alambeta, které se nachází na Katedře hodnocení textilií. Připravené vzorky byly ponechány 24h před měřením v laboratorních podmínkách. Popis měřícího zařízení Alambeta je blíže popsán v kapitole 1.4.1. Před začátkem měření byl zvolen přítlak přístroje 200 Pa.

Při měření na tomto přístroji se postupovalo dle popisu, který je uveden v interní normě č. 23-304-02/01: *Měření tepelných vlastností na přístroji Alambeta*. Měřené textilie byly mezi podložku a měřící hlavici vkládány bez jakýchkoliv nečistot a přehybů, aby bylo zajištěno co nejpresnější měření. Jednotlivá měření byla vždy provedena na jiné části textilie, aby byla zajištěna objektivnost měření. U každého materiálu bylo provedeno celkem 10 měření a naměřené hodnoty byly opět statisticky



zpracovány v programu QC Expert. Tímto způsobem byly odměřeny všechny materiály vybrané pro experimentální část, krom materiálu nepokovené a pokovené milife. Tyto dva materiály nemohly být na Alambetě odměřeny z důvodu jejich malé tloušťky. Při pokusu se tyto materiály na Alambetě naměřit byla naměřena tepelná vodivost $0,019 \text{ Wm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ což je menší tepelná vodivost než je vzduch. Z tohoto důvodu tato hodnota není reálnou hodnotou tepelné vodivosti tohoto materiálu. Naměřená data i statisticky zpracované hodnoty jsou uvedeny v příloze 5.

Při použití hodnoty plošného odporu vedení tepla, naměřeného na tomto přístroji, lze pomocí následující rovnice dopočítat tepelný komfort:

$$\text{Tepelný komfort} = \frac{r}{0,155} [\text{clo}] [1] \quad (46)$$

V tabulce 11 jsou uvedeny vypočítané průměrné hodnoty z naměřených dat a vypočítaná hodnota tepelného komfortu pro jednotlivé materiály. Teplota v laboratoři při měření byla $23,5^\circ \text{C}$ a vlhkost vzduchu 54 %.

Tabulka 11 Vypočítané průměrné hodnoty naměřených dat na přístroji Alambeta a vypočítaná hodnota clo pro jednotlivé materiály

Materiál	λ [Wm ⁻¹ .K ⁻¹]	A [m ² /s]	b [Wm ⁻² .s ^{0,5} .K ⁻¹]	r [W ⁻¹ .Km ²]	h [mm]	P	q [W.m ²]	Tepelný komfort [clo]
JC 1101	0,047	1,04E-07	145,1	0,010	0,475	1,3	450,7	0,066
DLC 921	0,042	1,38E-07	113,3	0,017	0,736	1,614	376,7	0,112
Bavlna	0,041	1,03E-07	128,2	0,014	0,585	1,503	406,8	0,092
Rotis	0,045	6,09E-07	58,04	0,171	7,661	4,599	140,3	1,103
Struto	0,055	1,04E-07	31,27	0,319	17,57	5,9	102,1	2,060

Při známe objemové porozitě, mohlo být přistoupeno k výpočtu tepelné vodivosti pro dané textilie. Nejprve bylo nutné spočítat tepelnou vodivost jednotlivých vláken. Jelikož u některých textilií je použito více druhů vláken, bylo zapotřebí spočítat tepelnou vodivost pro směs těchto vláken z rovnice 25.



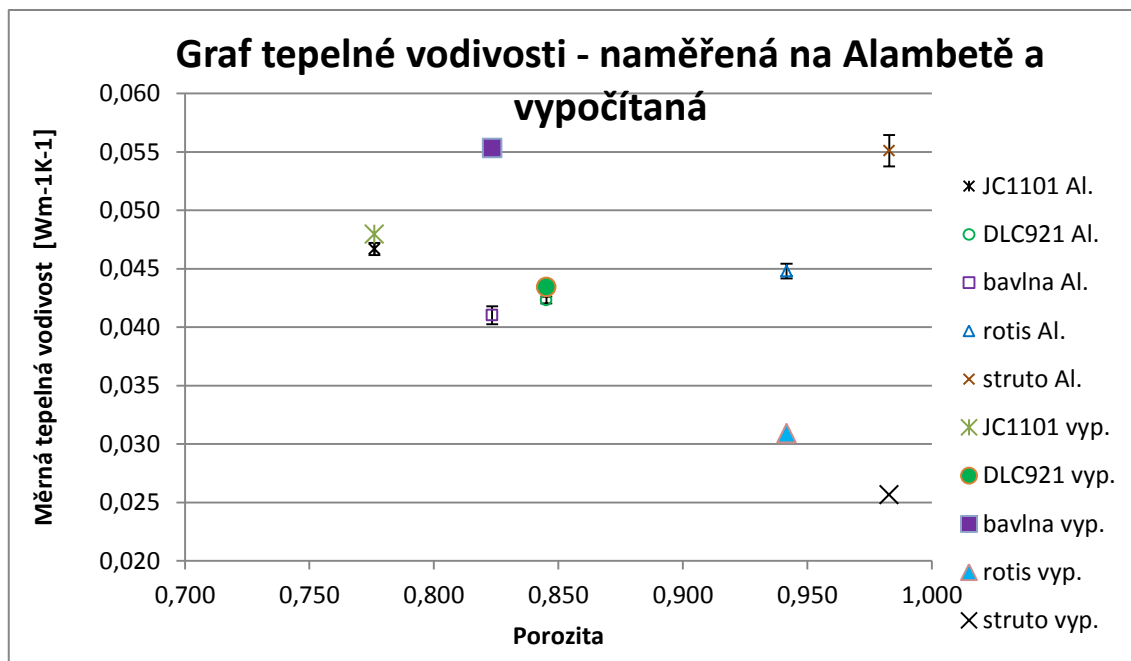
Při výpočtu efektivní tepelné vodivosti se uvažovalo paralelního a sériového uspořádání vláken, do kterých je zahrnuta objemová porozita dané textilie. Tepelná vodivost při paralelním uspořádání se vypočítala z rovnice 29 a tepelná vodivost pro sériové uspořádání se vypočítala z rovnice 30.

Z rovnice 31 byla vypočítána predikovaná tepelná vodivost daných materiálů. Predikovaný plošný tepelný odpor byl dopočítán z rovnice 9. Kde tloušťka materiálu brána naměřená hodnota z tloušťkoměru, převedená na metry a za tepelnou vodivost byla použita predikovaná hodnota tepelné vodivosti. Z predikovaného plošného tepelného odporu bylo ještě dopočítáno pomocí rovnice 46 predikované clo. V tabulce 12 jsou uvedeny vypočítané hodnoty jednotlivých predikovaných tepelných vodivostí, predikovaného plošného odporu vedení tepla a predikovaného tepelného komfortu pro dané materiály.

Tabulka 12 Vypočítané hodnoty predikované tepelné vodivosti, predikovaného plošného odporu vedení tepla a predikovaného tepelného komfortu pro dané materiály

Materiál	$\lambda_{AB}[\text{W/K.m}]$	$\lambda_p[\text{W/K.m}]$	$\lambda_s[\text{W/K.m}]$	$\lambda_t[\text{W/K.m}]$	$r [\text{W}^{-1} \cdot \text{K.m}^2]$	Tepelný komfort [clo]
<i>JC 1101</i>	0,212	0,066	0,030	0,048	0,010	0,064
<i>DLC 921</i>	0,250	0,059	0,028	0,043	0,017	0,109
<i>Bavlna</i>	0,352	0,082	0,029	0,055	0,011	0,068
<i>Rotis</i>	0,238	0,037	0,025	0,031	0,248	1,599
<i>Struto</i>	0,198	0,027	0,024	0,026	0,684	4,415
<i>Milife nepokov.</i>	0,218	0,049	0,027	0,038	0,001	0,007
<i>Milife pokov.</i>	135,800	10,824	0,026	5,425	$1 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$

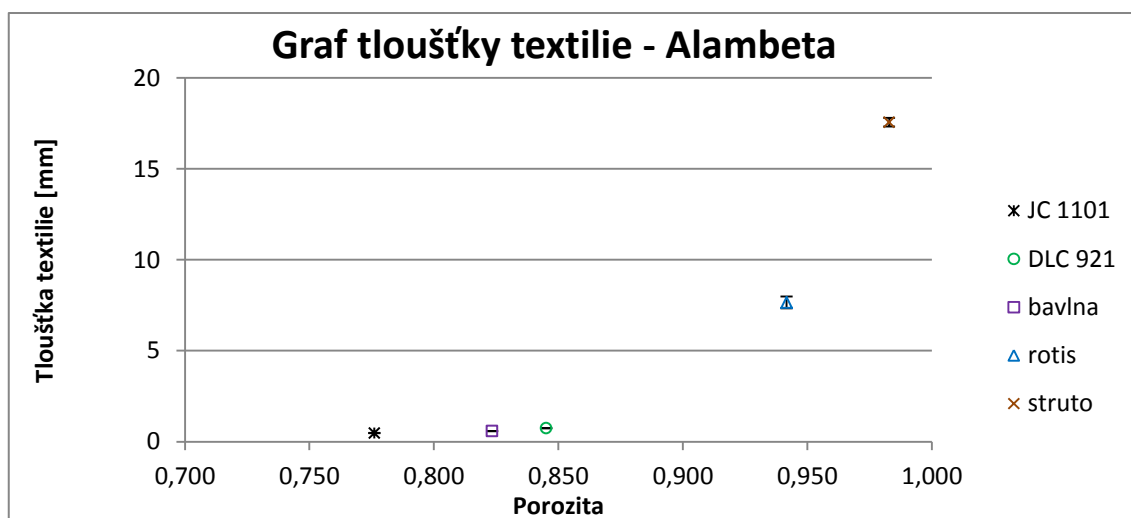
Pro porovnání naměřených hodnot tepelné vodivosti z Alambety a predikovaných hodnot tepelné vodivosti byly hodnoty vyneseny v grafu 3 na porozitě.



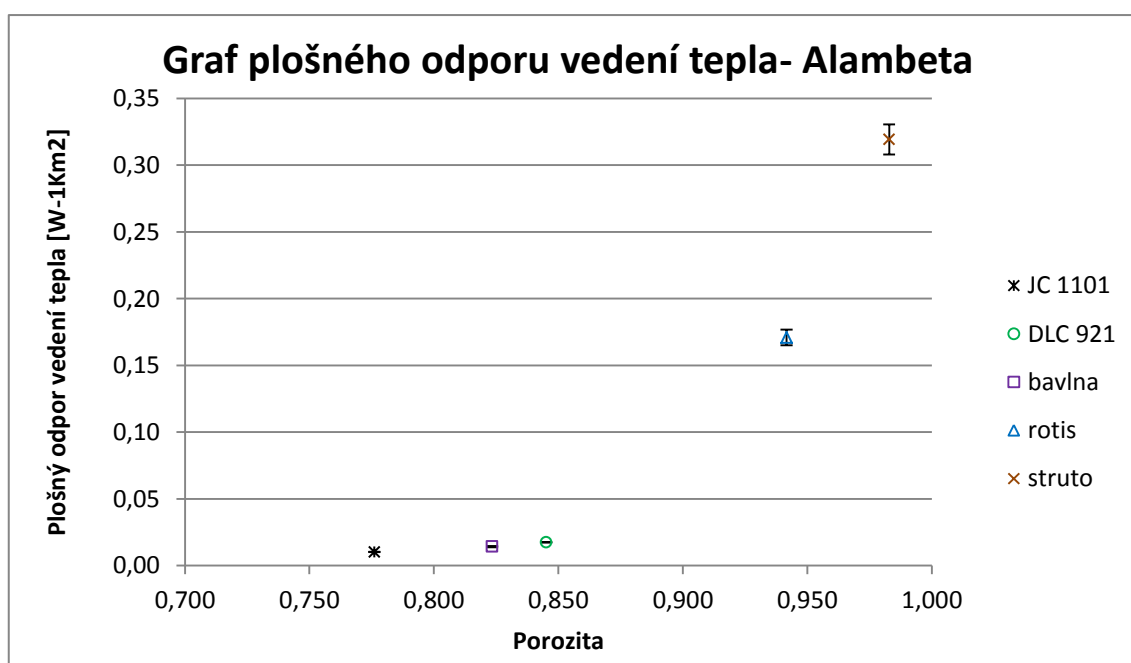
Graf 3 Graf měrné tepelné vodivosti pro dané materiály z přístroje Alambeta

U textilie, která je vyrobena ze stejného materiálu a stejné konstrukce, tepelná vodivost s rostoucí porozitou klesá. V tomto případě jsou vzorky z různých materiálů a odlišné konstrukce. Z grafu je patrné, že se naměřené hodnoty tepelné vodivosti z přístroje Alambeta a vypočítané hodnoty tepelné vodivosti se výrazně statisticky liší především u materiálu rotis a struto. Odchylka může být způsobena přitlakem Alambety, který způsobí vytlačení vzduchu z objemu textilií a tím u materiálu s vysokou porozitou zroste tepelná vodivost. V případě bavlny je statistický rozdíl způsoben navlhavostí bavlny, která při výpočtu nebyla zohledněna. Nejvyšší hodnoty tepelné vodivosti dosahuje vzorek struta, kde rozdíl je statisticky významný.

V grafech 4 a 5 jsou vyneseny naměřené hodnoty tloušťky textilie a plošného odporu vedení tepla z přístroje Alambeta pro jednotlivé materiály na objemové porozitě.



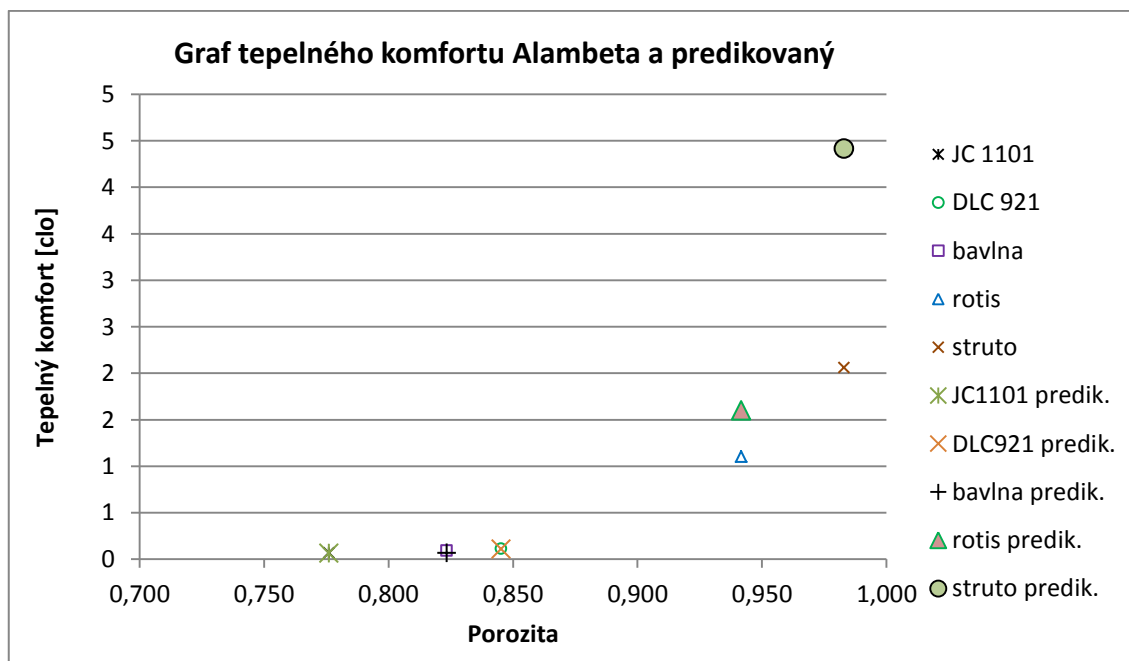
Graf 4 Graf tloušťky textilie pro dané materiály z přístroje Alambeta



Graf 5 Graf plošného odporu vedení tepla pro dané materiály z přístroje Alambeta

S rostoucí porozitou roste i plošný odpor vedení tepla. Významným faktorem je zde tloušťka materiálu. Nejvyšší hodnoty plošného odporu jsou u materiálu struta, kde rozdíl je statisticky významný.

V grafu 6 jsou vyneseny hodnoty tepelného komfortu vypočítaného z hodnot z Alambety a predikovaného tepelného komfortu pro dané materiály na objemové porozitě materiálu.



Graf 6 Tepelného komfortu vypočítaného z hodnot z Alambety a predikovaného tepelného komfortu pro dané materiály

Tepelný komfort clo vychází z hodnot plošného odporu vedení tepla. U predikovaného clo se projeví tloušťka materiálu.

2.2.3 Měření na přístroji TP-2

K měření tepelné propustnosti byl zvolen přístroj TP-2, který se nachází na Katedře materiálového inženýrství. K měření byly použity vzorky materiálu, které již byly použity pro měření na přístroji Alambeta a FX 3300. Vzorky k měření byly také ponechány 24h před samotným měřením v laboratorních podmínkách. Popis měřícího zařízení TP-2 je popsán v kapitole 1.4.6.

Při měření tepelné propustnosti na přístroji TP-2 bylo postupováno dle přiloženého postupu. Před samotným měřením byla nastavena rychlost proudícího vzduchu na 3 m/s. Pro každý materiál bylo na přístroji TP-2 provedeno celkem 5

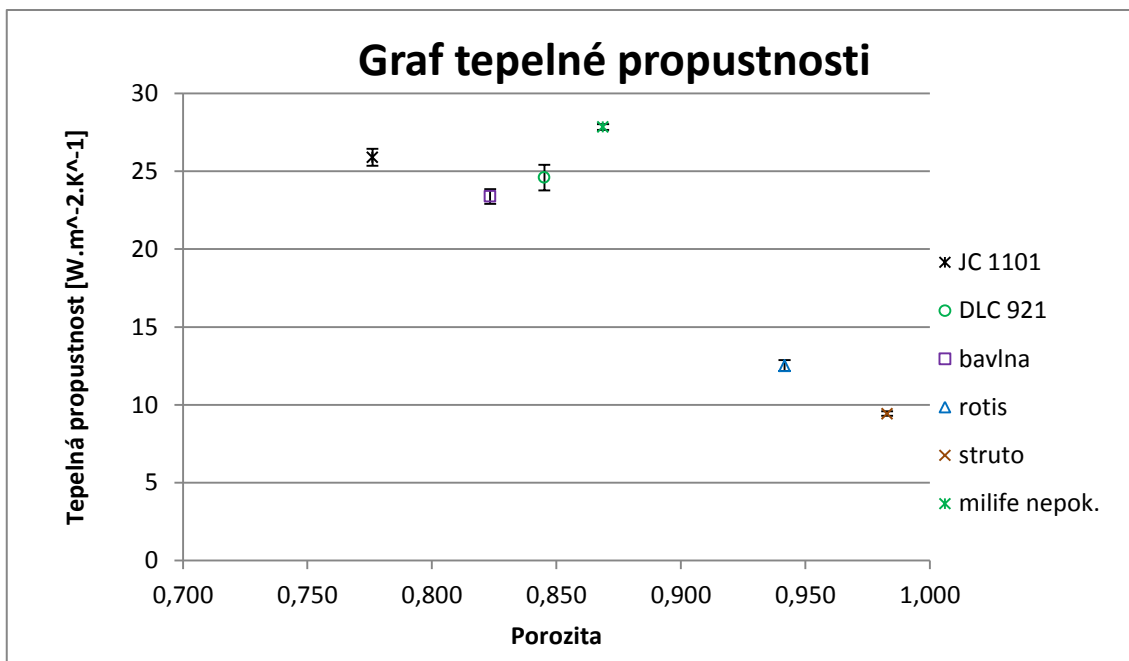


měření. Naměřené hodnoty byly zapsány a jsou uvedeny v příloze 5. Zaznamenané hodnoty byly opět statisticky zpracovány a pro jednotlivé materiály jsou uvedeny v tabulce 13. Teplota v laboratoři při měření byla 20,5 °C a vlhkost vzduchu 54 %. Materiál milife pokovený nemohl být tímto způsobem odměřen z důvodu nedostatečně velkého vzorku materiálu.

Tabulka 13 Statisticky vypočítané hodnoty tepelné propustnosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$] naměřené na přístroji TP-2

Materiál	ϕ	Spodní mez 95% IS střední hodnoty	Horní mez 95% IS střední hodnoty	Rozptyl	Směr. odchylka	Variační koeficient
<i>JC 1101</i>	25,900	25,352	26,448	0,068	0,008	0,032
<i>DLC 921</i>	24,600	23,778	25,422	0,257	0,016	0,065
<i>Bavlna</i>	23,380	22,904	23,856	0,147	0,383	1,640
<i>Rotis</i>	12,520	12,164	12,876	0,082	0,286	2,287
<i>Struto</i>	9,440	9,298	9,582	0,013	0,114	1,208
<i>Milife nepokovené</i>	27,840	27,652	28,028	0,023	0,152	0,545
<i>Milife pokovené</i>	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze

Naměřené hodnoty tepelné propustnosti jsou vyneseny v grafu 7 na objemové porozitě.



Graf 7 Naměřené hodnoty tepelné propustnosti pro dané materiály na přístroji TP-2

S rostoucí objemovou porozitou tepelná propustnost materiálu klesá. Tepelná propustnost u materiálu JC1101 a DLC921 není statisticky významná. Na naměřených hodnotách tepelné propustnosti se projevil vliv odlišné struktury.

2.3 Návrh nového měřicího zařízení

V kapitole 1.3 je uvedeno, že při výpočtu tepelných ztrát dle normy ISO 11079, která se zabývá ergonomií tepelného prostředí a stanovení interpretace stresu z chladu pomocí potřebné izolace oděvu (IREQ) a místních účinků chladu nevyužívá do výpočtu ztráty tepla kondukci, jelikož tato ztráta je zanedbatelná. Oproti tomu pro vypočítané potřebné clo z rovnice komfortu se hledá příslušná textilie o daném clo pomocí například Alambety, kde k tepelným ztrátám dochází jen kondukci a ztráty radiací a konvekci se zanedbávají. Jak je vidět, tak se tyto dvě teorie neshodují. Z tohoto důvodu se převážná část experimentální práce zabývala návrhem nového zařízení, kde by mohly být měřeny tepelné ztráty materiálů za nízkých teplot, se teplo od zdroje tepelného toku skrz textilie nešířilo pouze kondukci, ale také konvekci a radiací. Tímto způsobem byla



snaha se co nejvíce přiblížit reálným podmínkám při nošení oblečení, kdy k největším tepelným ztrátám skrz textilii dochází právě radiací a konvekcí.

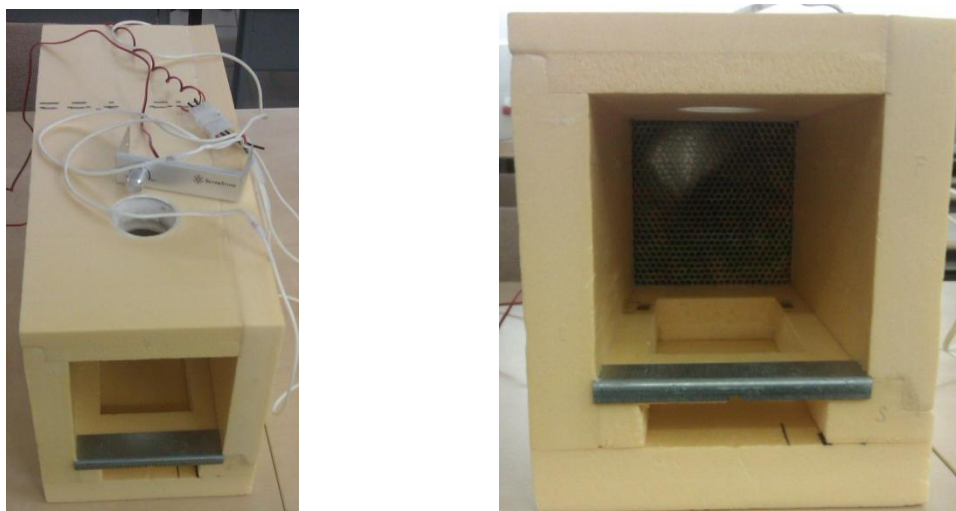
Konstrukce nového zařízení byla zaměřena na možnost měření tepelně izolačních vlastností textilní vrstvy v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku nebo se vzduchovou mezerou mezi materiálem a zdrojem tepelného toku s možností regulace rychlosti proudícího vzduchu nad měřeným vzorkem textilie a možností regulace okolní teploty. V první části byla popsána samotná konstrukce měřícího zařízení a všech jeho částí. Další část této kapitoly byla věnována popisu měření tepelných ztrát textilní vrstvy v tomto zařízení, kde jsou popsány 4 způsoby měření. V prvních 3 způsobech byly tepelné ztráty textilií zjišťovány pomocí čidel teploty a v posledním případě byly tepelné ztráty zjišťovány ze známého výkonu zdroje tepelného toku, doby ohřevu a chlazení zdroje tepelného toku. První způsob měření byl zaměřen na zjišťování tepelných ztrát textilních vrstev, kdy textilní vrstva byla v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku a mění se rychlost proudění vzduchu nad měřeným vzorkem a okolní teplota. Druhý způsob měření byl stejný jako předešlý, s tím rozdílem, že mezi zkoumanou textilií a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera. Při těchto dvou způsobech měření byla teplota okolí ochlazována od 20 do -20 °C postupným ochlazením o 10° C a při daných teplotách byly zapisovány teploty naměřené měřícími čidly. V dalším způsobu měření byla opět mezi textilií a zdrojem tepelného toku vzduchová mezera. V tomto případě však teplota okolí byla plynule ochlazována z 20 na -20 °C a všechna měření byla provedena pouze s jednou rychlostí proudícího vzduchu. Poslední způsob měření byl zkoumání tepelných ztrát a stupně izolace textilie, která byla postupně vrstvena téže textilií a je v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku. Toto měření bylo opět provedeno při různých teplotách okolního prostředí a za různých rychlostí proudícího vzduchu. Pro tyto způsoby měření byly použity textilie, které jsou popsány v kapitole 2.1. Na získaných naměřených hodnotách je zde ukázán možný způsob jejich vyhodnocování, jednotlivé výhody a nevýhody způsobu měření.

2.3.1 Návrh přístroje – měřící tunel

Cílem bylo vytvořit měřící zařízení, ve kterém by bylo možné měřit tepelné ztráty textilní vrstvy vedením, prouděním a radiací s možností změny teploty okolí a rychlosti

proudění okolního vzduchu. Změnu teploty okolního prostředí lze nejlépe měnit v klimatické komoře, kde lze simulovat jak letní venkovní teploty, tak i mrazivé zimní venkovní teploty. Klimatických komor je na Technické univerzitě hned několik, takže změna okolní teploty byla tímto zajištěna a budoucí měřící zařízení mělo podmínku, aby bylo přiměřeně velké, aby se do klimatické komory vešlo. Splnění podmínky možnosti regulace rychlosti proudění vzduchu lze nejlépe docílit pomocí vhodného ventilátoru, u kterého by byla možná změna jeho výkonu.

Základní konstrukci takového to zařízení, která je na obrázku 20 navrhl profesor Wiener z katedry Materiálového inženýrství a o jeho zkonstruování se zasloužil pan Trefáš z též katedry.



Obrázek 20 Měřící tunel navržený profesorem Wienerem

Zařízení muselo být vyrobeno z materiálu s co nejmenší tepelnou vodivostí, aby se zabránilo prostupu tepla od tepelného zdroje do okolí stěnami tohoto zařízení a byla zajištěna přesnost měření. Samozřejmostí při výběru vhodného materiálu byla i jeho dobrá obrobiteľnosť. Nejlépe těmto parametrům vyhovovala deska z extrudovaného polystyrenu. Pro ověření tepelné vodivosti tohoto materiálu byl materiál proměřen na přístroji FOX 314, který je více popsán v kapitole 1.4.3, a byla zjištěna jeho tepelná vodivost. U přístroje FOX 314 bylo potřeba nastavit hodnotu vyhřívání a chlazení desky, při kterých byla tepelná vodivost naměřena. Jelikož byl předpoklad, že zařízení z tohoto materiálu bude používáno minimálně v rozmezí okolních teplot 20 až -20°C byla proto tepelná vodivost odměřena při dvou rozdílných teplotách horní chlazené

desky. Při volbě teploty vyhřívané spodní desky se vycházelo z toho, že v konstruovaném měřicím zařízení bude zdroj tepla dosahovat teploty okolo 37°C. Při prvním měření byla nastavena spodní deska na teplotu 35°C a horní deska na teplotu 20°C. V tomto případě byla naměřena tepelná vodivost extrudovaného polystyrenu 0,03359 W/K.m. Při druhém měření byla nastavena spodní deska opět na 35°C a horní deska měla tentokrát teplotu -20°C. V tomto případě byla naměřena tepelná vodivost extrudovaného polystyrenu 0,03122 W/K.m. Při porovnání s tepelnou vodivostí vzduchu, která je přibližně 0,024 W/K.m bylo rozhodnuto, že tento materiál je vhodný jako tepelný izolant a může být použit pro stěny měřicího zařízení.

Pro možnou regulaci vzduchu byl použit ventilátor SilverStone FM121 o rozměrech 120 x 120 x 25 mm s 9 lopatkami, viz obrázek 21. Tento ventilátor je napájen na 12V a je u něho možné pomocí regulátoru plynule regulovat otáčky v rozsahu od 800 do 2400 ot/min. Při maximálním možném výkonu tento ventilátor dosahuje průtoku vzduchu cca 186,89 m³/h [35].



Obrázek 21 Ventilátor SilverStone FM121 s regulátorem otáček pro měřicí tunel

Po zakoupení ventilátoru byla vytvořena základní konstrukce měřicího tunelu. Z extrudovaného polystyrenu byl slepen obdélníkový tunel o rozměrech 180 x 210 x 450 mm a o tloušťce stěn 30 mm. Dno tunelu bylo vytvořeno z dvojité vrstvy a ve vrchní vrstvě byl vyříznut otvor pro vložení zdroje tepelného toku. Na přední hranu dna tunelu byl přilepen pozinkovaný plech, aby nedocházelo k opotřebování této hrany při vkládání zkoušeného materiálu do tunelu. Do stropní části byl vytvořen kruhový otvor o

průměru 50 mm, do kterého byla vlepena plastová vložka. Otvor s vložkou bude sloužit pro umístění anemometru Testo 405-V1 pro měření proudu vzduchu, který je na obrázku 22.

Tato tyč měří jak proudění vzduchu od 0 do 5 m/s tak i teplotu od -20 do $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, kde naměřené hodnoty se ukazují na displeji tohoto zařízení. Dokáže rozlišit i rychlost větru od $0,01\text{ m/s}$ a teplotu na $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností 5 %. Tyč je teleskopická a může dosahovat délky až 30 cm [36].



Obrázek 22 Anemometr Testo 405-V1 a jeho umístění v měřicím tunelu

Do zadní části tunelu byl umístěn ventilátor, před který byla ještě upevněna 140 mm široká stěna, která je vytvořena z nápojových brček o průměru 5 mm. Tato stěna měla zajistit rovnoměrné proudění vzduchu od ventilátoru k přední části tunelu. Takto byla vytvořena základní konstrukce měřicího tunelu.

Větší problém nastal při výběru vhodného tepelného zdroje, který by zajistil rovnoměrný tepelný tok skrz zkoušený materiál. S prvním nápadem zdroje tepla, který je na obrázku 23, přišel doktorand Zhu Guocheng z katedry Materiálového inženýrství. Jednalo se o topnou destičku připojenou do elektrické sítě o 230 V, která dosahovala tepelného výkonu až 40 W. Dosahovaná teplota povrchu destičky udávaná výrobcem byla $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Destička byla umístěna do dna měřicího tunelu a bylo provedeno první zkušební měření. Destička byla připojena do sítě a na povrch destičky byl položen teploměr, na kterém se sledovala teplota povrchu destičky. Bohužel se ukázalo, že

destička se ohřeje na cca 60 °C, ale bohužel tuto hodnotu si neudrží a začne chladnout až na hodnotu cca 30 °C, kdy se opět začne zahřívat do hodnoty cca 60 °C a takto pořád dokola. Požadavek na zdroj tepelného toku byl, aby si udržel stálou teplotu, což bohužel tato destička nesplňovala a bylo proto nutné hledat jiný zdroj tepelného toku.



Obrázek 23 Topná destička doktoranda Zhu Guochenga

Jelikož celé měřicí zařízení mělo být umístěno do klimatické komory, kde její pořizovací cena je vysoká, byl kladen důraz na napájení zdroje tepla, které mohlo být maximálně 12 V. V měřicím tunelu bylo zamýšleno především měřit oděvní materiály, kde zdroj tepelného toku by měl simulovat teplotu lidského těla. Z tohoto důvodu by zdroj tepelného toku měl nejlépe dosahovat hodnoty okolo 37 °C, na které by se udržel. V ideálním případě by měl zdroj tepla mít možnost regulace i na jiné ustálené hodnoty teploty, dle použití zkoušeného materiálu. Byl proveden průzkum trhu a bohužel žádná další vhodná tepelná destička, která by splňovala zmíněné i rozměrové požadavky, nebyla nalezena.

Po rozhovoru s elektrikářem jsem přišel s nápadem, že by jako zdroj tepelného toku mohla být použita destička z materiálu o dobré tepelné vodivosti, která by byla ohřívána pomocí nějakého topného tělesa, u kterého by se dal regulovat jeho tepelný výkon. Jako vhodný vodič tepla byl vybrán měděný plech, u kterého by pomocí vhodného teploměru byla neustále sledována jeho teplota. O regulaci tepla by se postaral příslušný regulátor teploty s teplotním čidlem umístěným ve vyhřívané desce. Jako teplotní čidlo bylo vybráno čidlo Pt100, které je na obrázku 24. Pro kontrolu teploty vyhřívané destičky byl vybrán laboratorní vpichový teploměr TFA 30.1033, který je na obrázku 24.



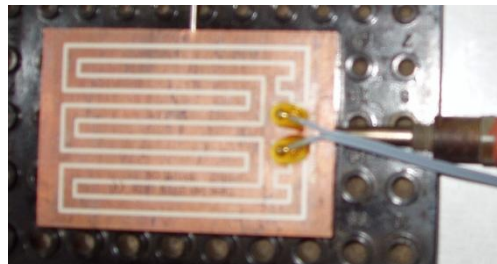
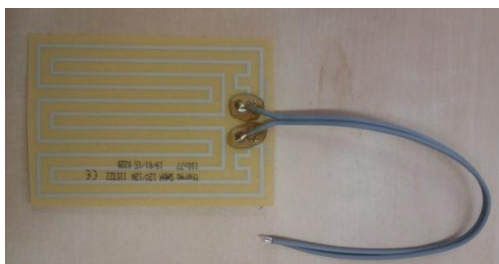
Obrázek 24 Teplotní čidlo Pt100 a laboratorní vpichový teploměr

Zvolený teploměr měří teploty v rozsahu od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ s rozlišením $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a snímáním teploty každou sekundu. Snímání teploty je zajištěno čidlem z nerezové oceli, které je propojeno s digitálním displejem pomocí kabelu o délce cca 1 m. Teploměr měří při okolních teplotách od 0 do $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a při okolních teplotách od -20 do $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a od 51 do $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. V jiném rozsahu se přesnost měřené teploty pohybuje okolo $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teploměr je také vybaven alarmem, který při nastavené horní a dolní meze požadované teploty může upozornit na příliš nízkou nebo vysokou teplotu [37].

Tloušťka měděné destičky, která měla být použita jako zdroj tepelného toku, se odvíjela od tloušťky čidla teploměru a tloušťky čidla teploty pro regulátor, které mělo být do destičky nasunuto. Konečné rozměry měděné destičky s ohledem na průměr čidel a velikost zhotoveného měřicího tunelu byly $80 \times 110 \times 12\text{ mm}$. Do přední části destičky byl doprostřed této strany vyvrtán otvor o průměru $6,5\text{ mm}$ a hloubce 20 mm pro vsunutí čidla pro regulátor. Do středu levé boční strany byl též vyvrtán otvor o průměru 3 mm a hloubce 15 mm pro vsunutí čidla kontrolního teploměru.

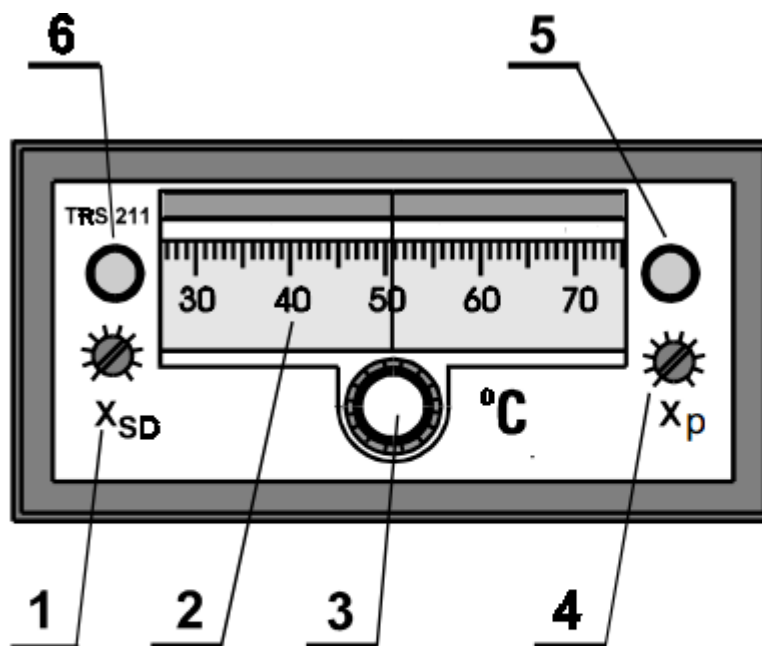
Pro ohřev měděné destičky byla vybrána ohebná, samolepící, topná folie TF00 o rozměrech $110 \times 77\text{ mm}$ a tloušťce cca $0,4\text{ mm}$, která je na obrázku 25. Folie byla vyrobena z průhledného polyesteru a topná část je slitina odporového polovodiče, který je rovnoměrně rozmístěn po celé ploše folie. Folie byla napájena na 12 V a dosahovala topného výkonu 12 W při napětí cca 1 A . Při okolní teplotě $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ dosahuje teplota povrchu folie bez nalepení cca 75 až $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Maximální teplotu folie značně ovlivňuje

okolní teplota a tepelná vodivost materiálu, na kterém je přilepena. Folii lze použít při teplotách od -40 do 95 °C [38].



Obrázek 25 Samotná topná folie TF00 a již přilepená na měděné

Folie byla nalepena na spodní část měděné destičky. Pro regulaci teploty byl použit regulátor TRS 211 a popis jeho čelního panelu je na obrázku 26.



- 1 - nastavení spínací hystereze
- 2 - nastavitelná stupnice teploty, středová ryska udává žádanou teplotu
- 3 - nastavení žádané teploty
- 4 - nastavení posuvu žádané hodnoty
- 5 - červená LED signalizace ohřevu tělesa
- 6 - zelená LED signalizace vypnutí ohřevu tělesa

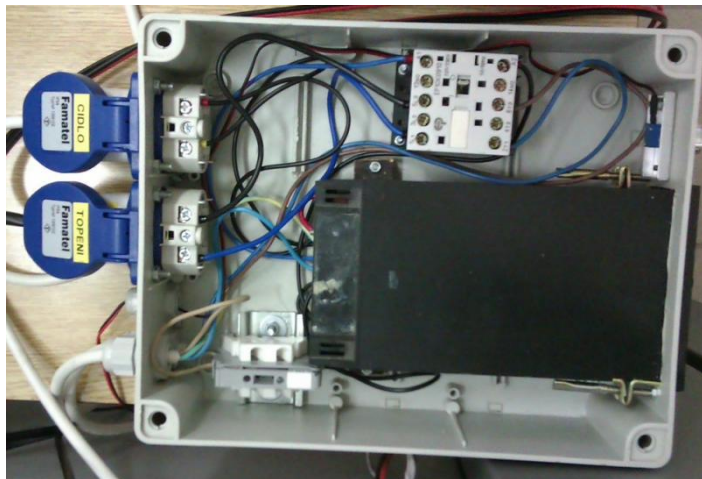
Obrázek 26 Popis čelního panelu regulátoru TRS 211 [39]



Regulátor TRS 211 byl určen k dvupolohové regulaci teploty. Regulátor byl připojen do elektrické sítě na 230 V a reguluje teplotu od 0 do 240 °C s přesností 1,5 %. Citlivost regulátoru lze nastavit od 0,5 do 2,5 °C. Regulátor snímá teplotu vyhřívané desky pomocí odporového čidla teploty Pt100. Dle požadované veličiny nám regulátor spíná stykač, který je připojen na výstupu z regulátoru. Stykač pomocí napětí z regulovatelného zdroje 0 až 12 V napájí topné těleso. Schéma zapojení regulace teploty je uvedeno v příloze 7. Na čelním panelu regulátoru se otáčením kolečka a zároveň otáčející se stupnicí, docílí nastavení regulátoru na požadovanou teplotu. Zelená a červená LED dioda signalizují, zda právě probíhá ohřev topného tělesa. Pokud svítí zelená LED dioda, topné těleso není ohříváno a pokud svítí červená LED dioda, probíhá ohřev topného tělesa. Požadované teploty je docíleno, pokud ryska na displeji a ručička aktuální teploty na stupnici se překryjí. Pomocí spínací difference X_{SD} , která je umístěna na čelním panelu, lze nastavit citlivost zapnutí a vypnutí ohřívání tělesa. Pokud je kolečko natočeno do polohy maximálně vlevo, je citlivost regulace teploty minimální (cca 2,5 °C). Pokud je kolečko nastaveno na maximální hodnotu vpravo, je citlivost regulace teploty maximální (cca 0,5 °C). Pomocí otočného kolečka X_P , které je také umístěno na čelním panelu, lze nastavit rychlost pohybu ručičky aktuální teploty, jak rychle bude reagovat na změnu teploty vyhřívané desky. Pokud je kolečko otočeno do maximální polohy vlevo, bude rychlost ručičky maximální a při ohřevu na požadovanou teplotu dojde k překročení požadované teploty. V opačném případě při chladnutí dojde k většímu poklesu teploty, než je požadováno. Pokud je kolečko v maximální poloze vpravo, bude rychlost ručičky minimální a dojde k pomalému ustálení na požadované teplotě.

Z důvodu snadné manipulace a bezpečnosti při ovládání teploty vyhřívané desky byl regulátor teploty, stykač s přepětíovou pojistkou a regulátor otáček ventilátoru umístěn do plastové elektrikářské krabičky. Kde do přední části krabičky byl umístěn čelní panel regulátoru teploty s regulátorem otáček ventilátoru. Pro snadné připojení a odpojení teplotního čidla a topného tělesa byly v zadní části krabičky přimontovány dvě elektrikářské zásuvky na 230 V. Konec kabele teplotního čidla a topného tělesa byl opatřen elektrikářskou vidlicí na 230 V, kterou lze snadno připojit a odpojit od regulátoru teploty. Uložení regulátorů a stykače s přepětíovou pojistkou do elektrikářské

krabičky je na obrázku 27 a zbylé obrázky krabičky jsou v příloze 8. Též přívodní kabele k ventilátoru od zdroje napětí a regulátoru otáček byly opatřeny rozpojovacím konektorem pro snadnou manipulaci.



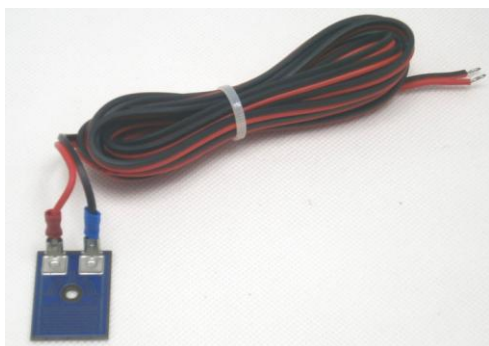
Obrázek 27 Elektrická krabička pro regulaci teploty topného tělesa a ventilátoru

Takto zapojené zařízení bylo již připraveno k otestování. První otestování proběhlo v domácích podmínkách, kdy jako zdroj 12 V pro vyhřívání tělesa byla použita klasická autobaterie. Nejprve byla měděná destička volně položena na stole při okolní teplotě okolo 20°C a byla vyhřátá na požadovanou teplotu 37 °C, kterou si bez problému udržela. Stejný postup byl zopakován v domácí ledničce, kde se okolní teplota pohybovala okolo 2°C a opět si destička bez větších potíží nastavenou hodnotu 37 °C udržela. Další testování již proběhlo v laboratoři Katedry materiálového inženýrství v klimatické komoře CTS. V klimatické komoře lze nastavit teplotu od -50 do 240 °C a vlhkost od 5 do 95 %.

Destička s folií byla vložena do zhotoveného tunelu a tunel byl umístěn do klimatické komory. Pro připojení čidla teploměru k destičce byl v levém boku tunelu vytvořen vhodně velký otvor. Regulátor teploty byl připojen na jeden kanál laboratorního zdroje Statron typ 2229.2, jeho obrázek je umístěn v příloze 9. Jedná se o dvoukanálový zdroj s možností regulace napětí od 0 do 40 V a možností regulace proudu od 0 do 2,5 A u jednotlivého kanálu zdroje zvlášť. Na druhý kanál tohoto zdroje byl připojen ventilátor měřicího tunelu. V klimatické komoře byla nastavena teplota -10 °C, ventilátor měřicího tunelu byl zapnut naplno a na regulátoru teploty byla nastavena

požadovaná teplota na 37°C. Této hodnoty destička ani po delší době nedosáhla a teplota se zastavila na hodnotě okolo 30 °C. Z tohoto důvodu ani tato topná folie nebyla kvůli dosahujícímu tepelnému výkonu vhodná jako topné těleso do měřicího tunelu.

Bylo nutné sehnat topné těleso s větším tepelným výkonem. Jako nejvhodnější byly zakoupeny dvě plochá topná tělesa TF73 , která jsou na obrázku 28. Každé těleso je napájeno na 12 V a poskytuje tepelný výkon 40 W, ke kterému potřebují příkon cca 3,3 A. Tepelný výkon topných těles je ve srovnání s poskytovaným tepelným výkonem lepicí folie několikanásobně vyšší. Topná tělesa mají rozměry 26 x 37 x 1 mm a z těchto důvodů byla zakoupena topná tělesa dvě, aby mohl být zajištěn rovnoměrnější ohřev měděné destičky. Tělesa lze použít pro pracovní teploty od -40 do 200 °C. Uprostřed topných těles je otvor o průměru 4,2 mm pro připevnění topných těles k vyhřívanému materiálu pomocí šroubů. Pro upevnění topných těles k destičce, byly do destičky vyvrtány patřičné otvory, do kterých byl zhotoven závit a pomocí šroubů byla topná tělesa k destičce připevněna [40].



Obrázek 28 Ploché topné těleso a jeho upevnění k měděné destičce [40]

Pro přívod napájecích kabelů k vyhřívaným tělesům, připevněným k měděné destičce, která byla umístěna ve dnu zhotoveného měřicího tunelu, bylo nutné ve dnu vytvořit patřičně velké otvory, kterým byly kabely prostrčeny. Po prostrčení kabelů byly otvory patřičně zaizolovány a totéž bylo provedeno i s otvorem pro čidlo teploměru po jeho vsunutí do měděné destičky. Přední a zadní část tunelu byla ještě podlepena též extrudovaným polystyrenem, aby mohli být napájecí kabely topných těles snadno vyvedeny z dna měřicího tunelu. Opět bylo provedeno odzkoušení v klimatické komoře,

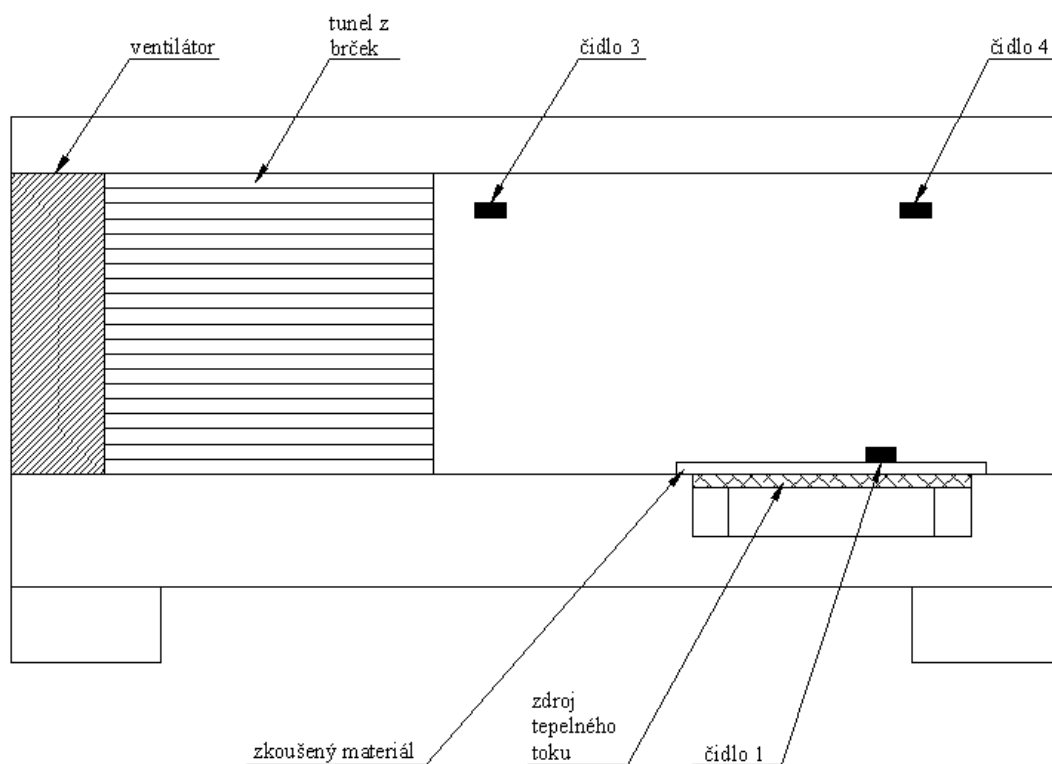


kde byla tentokrát nastavena teplota $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a požadovaná teplota měděné destičky byla nastavena na $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale této teploty bohužel nedosáhla. Problém tentokrát nebyl v tepelné kapacitě topných těles, ale v laboratorním zdroji, který umožňoval napájení pouze $2,5\text{ A}$ a pro obě tělesa bylo potřeba napájení o velikosti $6,6\text{ A}$. Z tohoto důvodu byl laboratorní zdroj přemostěn a z dvoukanálového laboratorního zdroje se stal zdroj jednobaný o výkonu 5 A , což už bylo pro regulaci měděné desky o teplotě $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ a okolní teplotě $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ postačující. Pro napájení ventilátoru byl použit zdroj DIAMETRAL R124R50E s regulovatelným napětím v rozsahu od $0,9$ do 24 V a možností regulace proudu v rozsahu od 0 do 2 A . I tento regulátor je na obrázku v příloze 9. Takto zhotovené a zapojené zařízení bylo připraveno k měření tepelných ztrát textilních vrstev od zdroje tepelného toku (měděné destičky), skrz zkoumaný materiál.

K měření a zaznamenávání teploty, která projde skrz zkoumaný materiál, byl použit měřicí set EK-H4 od firmy Sensirion. Set obsahuje multiplex box se 4 kanály, napájecí zdroj na 230 V , USB kabel pro připojení boxu k počítači, čtyři 3 m kabely pro připojení měřících čidel k boxu a 4 měřící čidla SHT71, které měří teplotu i vlhkost. Multiplex je opatřen digitálním displejem, na kterém jsou zobrazovány aktuální snímané hodnoty teploty a vlhkosti. Měřící čidla SHT71 mají rozměry $19,5 \times 5,08 \times 3,1\text{ mm}$ a měří teplotu a vlhkost s přesností $\pm 3\%$. Provozní rozsah vlhkosti čidel je od 0 do 100% a teplotní rozsah čidel je od -40 do $125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro zaznamenávání a ukládání naměřených hodnot byl box připojen k počítači, kde byl nainstalován speciální program, ve kterém byly aktuální naměřené hodnoty, pro příslušná čidla vykreslovány do grafů. V programu lze nastavit, v jakém časovém intervalu mají být měřené hodnoty pomocí čidel snímány a program též sloužil pro ukládání naměřených dat ve formátu csv. Obrázek čidla SHT71 a multiplexového boxu je uveden v příloze 10 [41].

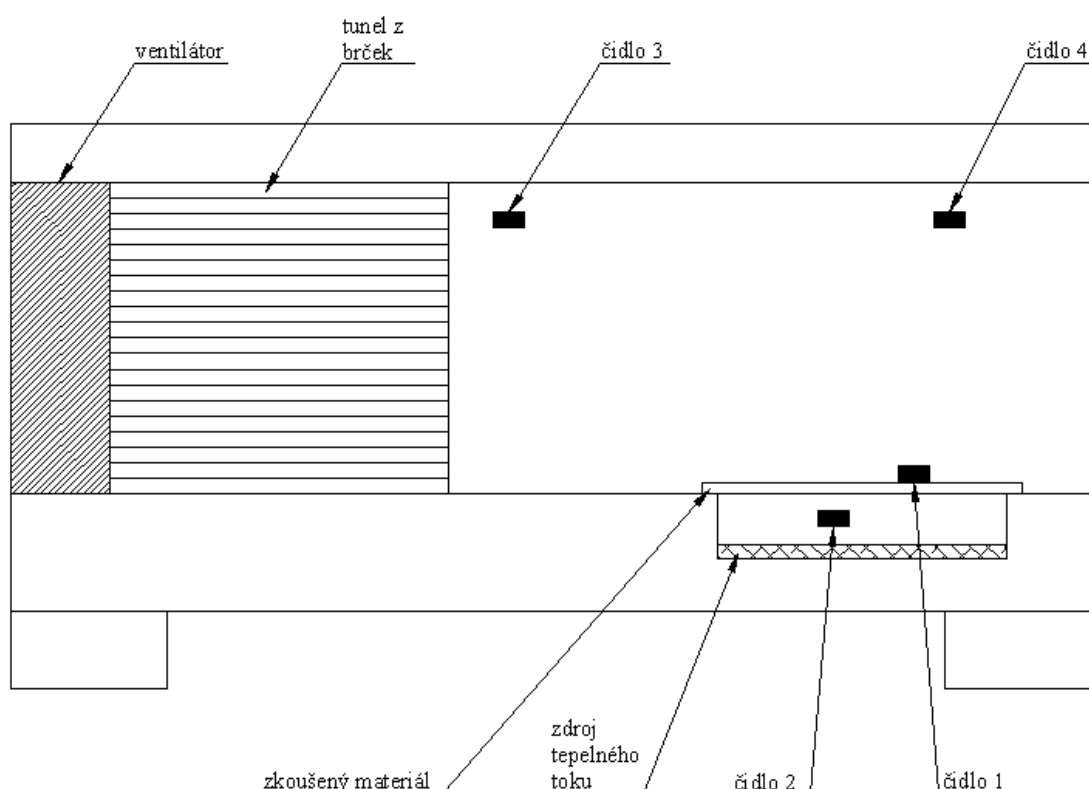
V experimentální části měly být odzkoušeny tři metodiky měření tepelných ztrát textilních vrstev v nově zkonstruovaném měřicím tunelu, kde k určení tepelných ztrát textilních vrstev měly být použity měřicí set EK-H4. Tyto 3 metodiky jsou popsány v následujících kapitolách, avšak pro tyto metodiky bylo nutné vhodně rozmístit měřící čidla v sestaveném měřicím tunelu. Rozmístění čidel pro první metodiku měření je

znázorněno na obrázku 29. Pro tento případ je čidlo 1 umístěno přímo na textilií, aby snímalo teplotu povrchu zkoumaného materiálu. Jelikož mezi zkoušeným materiálem a zdrojem tepelného toku není mezera, bylo čidlo 2 pro tuto metodiku vyřazeno. Čidla 3 a 4 byly rozmístěny do prostoru měřicího tunelu, kde proudí od ventilátoru vzduch k měřenému materiálu. Tyto čidla zaznamenávají teplotu vzduchu přiváděnou k měřenému materiálu. Pro umístění čidel bylo nutné z levé strany tunelu ve výšce 60 mm od horního okraje vytvořit dva otvory, kterými jsou čidla přivedena do prostoru tunelu. Čidlo 3 bylo umístěno v zadní části tunelu, těsně za stěnou vytvořenou z brček a čidlo 4 bylo umístěno ve vzdálenosti 60 mm od předního okraje tunelu. Všechny vytvořené otvory byly zaizolovány, aby bylo co nejméně ovlivněno měření. Pro umístění zdroje tepelného toku do přímého kontaktu s měřeným materiálem byla destička podložena vhodnými zhotovenými podložkami, až dosáhla výšky, kdy byla její horní strana zároveň s vnitřním dnem tunelu.



Obrázek 29 Rozmístění čidel v měřicím tunelu, kdy je zkoumaná textilie v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku

Rozmístění čidel pro druhou metodiku měření je znázorněno na obrázku 30.



Obrázek 30 Rozmístění čidel v měřícím tunelu, kdy mezi zkoumanou textilií a zdrojem tepelného toku je vzduchová mezera

V tomto případě byla mezi textilií a zdrojem tepelného toku ponechána 15 mm vzduchová mezera. Čidlo 1 bylo opět umístěno na povrchu zkoumané textilie a jeho funkce zůstala shodná s předešlou metodikou. Čidlo dvě bylo umístěno doprostřed vzduchové mezery mezi zdrojem tepelného toku a zkoumaným materiálem a měřilo teplotu vzduchové vrstvy mezi měřeným materiálem a zdrojem tepelného toku. Pro toto čidlo bylo nutné v pravé straně měřícího tunelu vytvořit otvor, kterým bylo měřící čidlo do vzduchové mezery přivedeno. Čidlo dvě bylo umístěno doprostřed vzduchové mezery mezi zdrojem tepelného toku a zkoumaným materiálem. Umístění a funkce čidel 3 a 4 zůstala stejná jako u předešlé metodiky.



2.3.2 Měření tepelných ztrát v přímém kontaktu textilie a měděné destičky

Jedná se o metodiku zjišťování tepelných ztrát pro dané textilie v nově zkonstruovaném měřicím tunelu, kdy zkoumané textilie byly v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku. Tato metodika byla založena na zjišťování tepelných ztrát, kdy k tepelným ztrátám docházelo především přenosem tepla vedením. Pro tuto metodiku měření byly použity materiály DLC921, JC1101, bavlna, textilie s membránou, rotis a struto. Pro snadné umístění zkoušených textilií do měřicího tunelu byl zhotoven rámeček z umakartu, na který byly zkoušené textilie přilepeny pomocí oboustranné lepicí pásky. Rámeček s přilepenou textilií byl potom vložen do měřicího tunelu a k němu je též přilepen pomocí oboustranné lepicí pásky. Zhotovený rámeček i s nalepenou textilií je uveden v příloze 11. Po vložení textilie do měřicího tunelu, bylo na povrch textilie umístěno čidlo teploty (označeno jako čidlo teploty 1), které mělo zaznamenávat teplotu povrchu textilie. Poté byl tunel vložen do klimatické komory, měřicí čidla byla připojena k multiplexu, který byl připojen k počítači. Dále byl tunel propojen s regulátorem teploty a regulátorem rychlosti proudění a vše bylo připraveno k měření.

V této metodice bylo odzkoušeno jaký vliv na tepelné ztráty textilií má měnící se okolní teplota a měnící se rychlost proudění vzduchu. Tepelné ztráty bylo rozhodnuto zkoumat při teplotách okolního vzduchu 20, 10, 0, -10 a -20 °C, které díky klimatické komoře je možné snadno dosáhnout a tyto hodnoty si udržet. Při výběru zkoumaných teplot bylo zaměřeno na teploty, se kterými můžeme v našem podnebí přijít do styku, a snaha byla se zaměřit především na nižší teploty, při kterých je nejvíce vyžadována dobrá izolační vlastnost použitého materiálu. Hodnota vlhkosti vzduchu byla pro všechna měření v komoře nastavena na 65 %. Tuto hodnotu však klimatická komora nedokázala ustálit při všech zkoumaných teplotách. V tabulce 14 je ukázáno, pro dané teploty na jakých hodnotách se přibližně vlhkost v komoře ustálila.

Tabulka 14 vlhkost v komoře pro dané teploty

Teplota v komoře [°C]	20	10	0	-10	-20
Vlhkost v komoře [%]	65	65	78	73	73

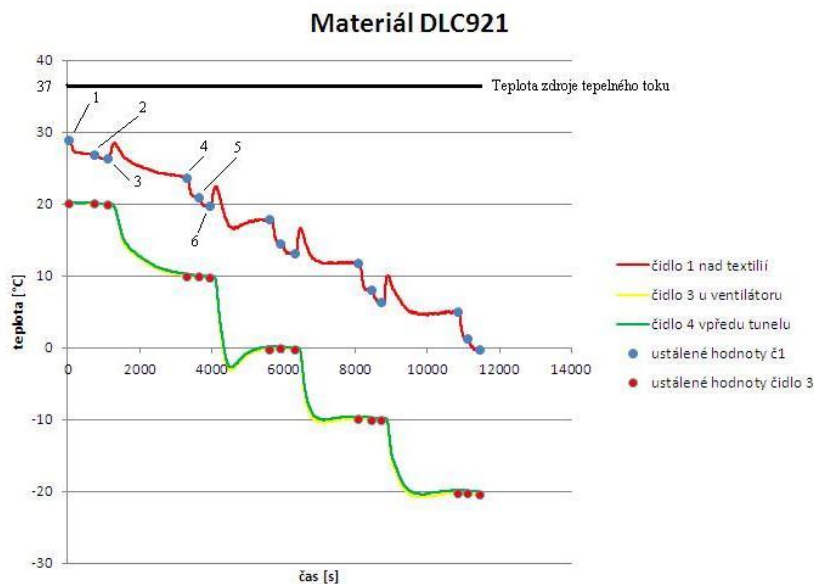


Před prvním měřením bylo nutné si stanovit, při jakých rychlostech proudění vzduchu v tunelu budou tepelné ztráty zjišťovány. Bylo rozhodnuto pro 3 rychlosti proudění vzduchu nad zkoušeným materiálem. Pomocí Anemometru Testo 405-V1 byly změřeny 3 rychlosti proudění vzduchu nad zkoumanou textilií, které byly měněny pomocí regulace otáček ventilátoru. První rychlost měla hodnotu 0,73 m/s, druhá měla rychlost 1,7 m/s a třetí rychlost měla hodnotu 2,1 m/s. Aby bylo těchto 3 hodnot dodrženo a nemuselo se při každé změně otáček ventilátoru přeměřovat, zda byla v tunelu požadovaná rychlost vzduchu, byly zhotoveny pro dané rychlosti značky polohy regulace otáček. Pro kontrolu byly též opsány hodnoty napětí zdroje ventilátoru pro jednotlivé stanovené rychlosti proudění.

Samotné měření vypadalo následovně. Nejprve byla zapnutá klimatická komora, na které byla nastavena počáteční teplota na 20 °C a vlhkost na 65 %. Poté bylo zapnuto vyhřívání zdroje tepelného toku. Na regulátoru teploty pro měděnou destičku byla nastavena teplota 37 °C, na kterou měl být zdroj tepelného toku ohřán a tuto hodnotu si měl udržet. Rychlost proudění vzduchu v tunelu byla nastavena na hodnotu 0,73 m/s. Na počítači byl spuštěn program EK – H4 Viewer V2.0, kde bylo nastaveno, kam se naměřená data z teplotních čidel budou ukládat a že měřicí čidla budou teplotu snímat každou sekundu. Měření pro každý materiál začínalo při ustálení teploty v klimatické komoře na hodnotě 20 °C, vlhkosti 65 %, teplotě vyhřívané destičky na 37 °C a ustálení hodnot měřících čidel. V tuto chvíli bylo na počítači v programu EK – H4 Viewer V2.0 kliknuto na START a od této chvíle byly všechny hodnoty teploty a vlhkosti z měřících čidel zaznamenávány. S hodnotami zaznamenané vlhkosti a teploty se ukládal i čas, ve který byly jednotlivé naměřené hodnoty zaznamenány. Z tohoto důvodu si stačilo zapsat čas, ve který byly všechny veličiny ustáleny a poté si pro dané zapsané časy hodnoty z jednotlivých čidel dohledat. Po zaznamenání času byla rychlost proudění vzduchu v tunelu pomocí otáček ventilátoru změněna na rychlost 1,7 m/s. Bylo setrváno 5 až 10 minut, než se hodnoty čidel opět ustálily a opět byl zapsán čas ustálení. Nyní byla rychlost proudění vzduchu nad zkoušeným vzorkem textilie přenastavena na hodnotu 2,1 m/s. Opět bylo vyčkáno 5 až 10 minut do ustálení hodnot a byl zapsán čas ustálení. Tímto způsobem byly naměřeny tepelné ztráty zkoušené textilie při 20 °C a třech rychlostech ventilátoru a mohlo se přejít na okolní teplotu 10 °C. Rychlost

proudění vzduchu byla vrácena do první polohy na hodnotu 0,73 m/s a teplota v klimatické komoře byla přenastavena na teplotu 10 °C. Nyní bylo třeba vyčkat, než se teplota v komoře ustálí na požadovaných 10 °C, což přibližně trvá okolo 40 - 50 minut. Poté opět byl zapsán čas ustálení a aktuální hodnoty pro jednotlivá čidla. Poté byla rychlost proudění vzduchu v tunelu přenastavena na druhou a třetí stanovenou rychlost a byl zopakován stejný postup jako u předešlé okolní teploty. Tímto způsobem byly tepelné ztráty textilní vrstvy změřeny postupně pro teploty 0, -10 a -20 °C, vždy pro 3 rychlosti proudění vzduchu nad textilním materiálem. Po měření při poslední teplotě a rychlosti proudění se v programu EK – H4 Viewer V2.0 kliklo na STOP a ukládání dat z měřících čidel bylo ukončeno.

Naměřená data byla uložena do souboru s koncovkou csv, který bylo možno otevřít například v programu Microsoft Excel. Zaznamenané teploty z jednotlivých čidel byly vyneseny do grafu. Na obrázku 31 jsou vyneseny hodnoty teploty, jak se měnily v čase se změnami okolní teploty a rychlostí proudícího vzduchu pro jednotlivá čidla materiálu DLC 921.



Obrázek 31 Naměřené hodnoty teploty pro materiál DLC921, který byl v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku



Z důvodu rozdílné časové délky ustálení klimatické komory na požadovanou teplotu, rozdílné doby ustálení teploty nad měřeným vzorkem nelze pro vyhodnocování tepelných ztrát textilních vrstev použít celý záznam z průběhu měření a jednotlivé materiály tímto způsobem porovnat. Z tohoto důvodu byly pro vyhodnocování jednotlivých materiálů použity jen ustálené hodnoty pro dané teploty a rychlosti proudění vzduchu, pro které byly spočítány tepelné ztráty jednotlivých materiálů. Ustálené hodnoty, které byly brány pro výpočet tepelných ztrát textilních vrstev, jsou v grafu 1 na křivkách znázorněny jednotlivými body. Červenou barvou je v grafu znázorněno, jak se měnila teplota u čidla 1, které bylo umístěno na povrchu měřené textilie. Žlutou a zelenou barvou je v grafu vynesena teplota v zadní a přední části tunelu. Na těchto dvou křivkách je vidět, kdy se měnila teplota v komoře a kdy se teplota ustálila na požadované hodnotě. Modrými body na červené křivce je znázorněno, ve který okamžik byly hodnoty teploty ustáleny a zapsány. Pro body 1 až 3 je okolní teplota stálá na hodnotě 20 °C. Bod jedna je čas sběru hodnoty teploty při ustálené okolní teplotě a rychlosti proudění okolního vzduchu 0,73 m/s. Poté je vidět pokles teploty, způsobený změnou rychlosti proudícího vzduchu na hodnotu 1,7 m/s. Bod dvě ukazuje dobu sběru naměřené hodnoty teploty, kdy byla teplota ustálena při okolní rychlosti 1,7 m/s. Opět je vidět dle křivky mírný pokles teploty, způsobený zrychlením proudícího vzduchu na hodnotu 2,1 m/s. V bodě 3 byla zaznamenána teplota povrchu textilie při rychlosti proudění 2,1 m/s vzduchu nad textilií. V další části křivky je vidět jak teplota vzrostla a za krátkou dobu zase začala klesat. To bylo způsobeno, že nejprve byla přenastavena hodnota proudícího vzduchu z 2,1 m/s na 0,73 m/s a až potom byla přenastavena teplota v klimatické komoře na teplotu 10 °C. Body 4 až 6 ukazují, v jaký čas se hodnoty teploty ustály při daných třech rychlostech proudění okolního vzduchu a okolní teplotě 10 °C. A takto je to i s dalšími body až do okolní teploty – 20 °C a rychlosti ventilátoru 2,1 m/s. Červené body vyobrazené na žluté křivce odpovídají stejnému času, kdy byly zapisovány i hodnoty teploty z čidla 1. Pro přehlednost nejsou na zelené křivce zaznamenané hodnoty teploty vyneseny, jelikož jsou téměř totožné s body na žluté křivce. V grafu byla též pro lepší představu dokreslena černou barvou přímka, která symbolizuje zdroj tepelného toku. Získané ustálené hodnoty na jednotlivých čidlech teploty pro materiál DLC921 jsou zapsány v tabulce 15.

Tabulka 15 Ustálené hodnoty teploty pro jednotlivá čidla materiálu DLC921 v přímém kontaktu textilie se zdrojem tepelného toku

Teplota okolí [°C]	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Čidlo 1 teplota [°C]	Čidlo 3 teplota [°C]	Čidlo 4 teplota [°C]
20	0,73	28,95	20,09	20,17
	1,7	26,9	20,09	20,13
	2,1	26,33	20	20,04
10	0,73	23,74	9,94	10,16
	1,7	20,91	9,9	10,03
	2,1	19,72	9,77	9,9
0	0,73	17,82	-0,21	0,1
	1,7	14,55	-0,02	0,15
	2,1	13,14	-0,21	-0,01
-10	0,73	11,78	-9,96	-9,62
	1,7	7,99	-10,04	-9,77
	2,1	6,3	-10,13	-9,9
-20	0,73	5,07	-20,24	-19,84
	1,7	1,27	-20,24	-19,89
	2,1	-0,26	-20,39	-20,06

Tímto způsobem byly odměřeny materiály DLC921, JC1101, bavlna, textilie s membránou, rotis a struto. Zhotovené grafy naměřených hodnot teploty pro dané materiály jsou uvedeny v příloze 12. Ustálené hodnoty teploty pro jednotlivá čidla a materiály jsou též uvedeny v příloze 12.

Výpočet tepelných ztrát vrstvou textilie za předpokladu, že textilie jsou v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku

Při výpočtu tepelných ztrát jednotlivých vybraných textilních materiálů způsobených vedením tepla byly uvažovány následující předpoklady. Prvním předpokladem bylo, že pokud bude naměřená teplota na povrchu textilie stejná s okolní teplotou v měřicím tunelu, potom budou tepelné ztráty měřené textilie nulové.



V případě, že teplota na povrchu textilie se rovnala teplotě zdroje tepelného toku, v tomto případě teplotě 37 °C, byly tepelné ztráty textilní vrstvy stoprocentní. Pro výpočet tepelných ztrát jednotlivých materiálů se vycházelo z rovnice:

$$TZM = (1 - \frac{T_f - T_t}{T_d - T_t}) \cdot 100 \quad (47)$$

Kde:

TZM tepelné ztráty materiálu [%]

T_f teplota na tkanině naměřená čidlem 1 [°C]

T_t teplota v měřicím tunelu (průměr teplot z čidel 3 a 4) [°C]

T_d teplota zdroje tepelného toku [°C]

Vypočítané tepelné ztráty pro jednotlivé materiály pro danou teplotu a proudění vzduchu nad měřeným materiálem jsou uvedeny v tabulce 16.

Tabulka 16 Vypočítané tepelné ztráty pro jednotlivé materiály v přímém kontaktu textilií se zdrojem tepelného toku

Teplota okolí [°C]	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	TZM materiálu JC1101 [%]	TZM materiálu DLC921 [%]	TZM materiálu Bavlna [%]	TZM materiálu Rotis [%]	TZM materiálu Struto [%]
20	0,73	58,950	52,282	45,716	23,531	14,689
	1,7	52,050	40,201	35,206	21,348	11,575
	2,1	47,767	37,161	32,034	20,436	10,155
10	0,73	60,694	50,798	47,977	23,599	14,837
	1,7	49,768	40,485	36,369	20,568	10,976
	2,1	46,941	36,389	32,124	20,464	9,540
0	0,73	58,449	48,239	46,873	22,678	13,711
	1,7	49,188	39,218	35,997	20,480	10,578
	2,1	45,810	35,705	32,430	19,849	9,064
-10	0,73	56,380	46,100	45,245	21,738	12,856



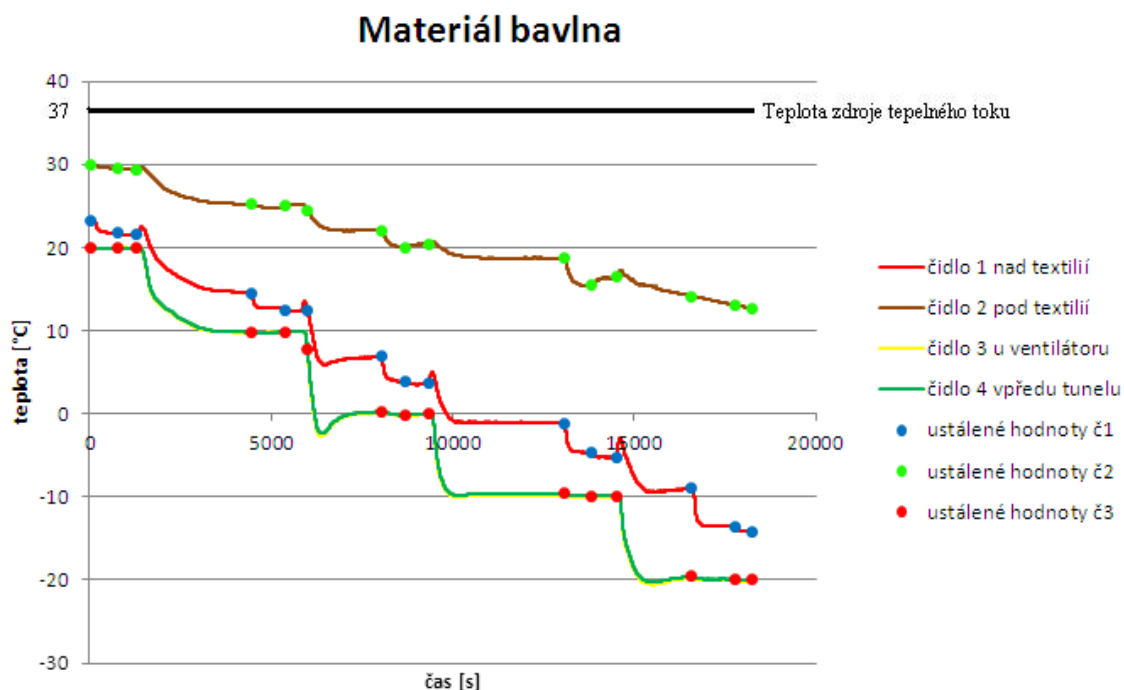
Teplota okolí [°C]	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	TZM materiálu JC1101 [%]	TZM materiálu DLC921 [%]	TZM materiálu Bavlna [%]	TZM materiálu Rotis [%]	TZM materiálu Struto [%]
-10	1,7	47,765	38,152	35,525	19,682	9,875
	2,1	44,977	34,702	32,789	19,241	8,697
-20	0,73	52,905	44,022	45,571	21,338	12,021
	1,7	47,111	37,387	35,483	19,613	9,496
	2,1	45,235	34,889	32,154	19,071	8,528

2.3.3 Měření tepelných ztrát materiálu se vzduchovou mezerou

Tato metodika je založena na zjišťování tepelných ztrát jednotlivých textilních materiálů v měřicím tunelu. Oproti předešlé metodice byly v tomto případě mezi zkoumanou textilií a zdrojem tepelného toku 15 mm vzduchová mezera. Touto metodikou měření byla snaha se co nejvíce přiblížit reálnému oblékání člověka. Kdy mezi povrchem lidského těla a oblečenou vrstvou jakékoliv textilie je také ve většině případů vzduchová mezera, pokud se tedy nejedná o přiléhavé oblečení, jako jsou například sportovní dresy. Tato metodika je nevýhodná v tom, že se neví, co se ve vytvořené vzduchové mezeře děje. Jaké tam převládá proudění vzduchu, jestli se tam tvoří nějaké turbulentní proudění a podobně. Bohužel se stejným problémem se potýkáme i u člověka, u kterého též pod oblečením nedokážeme popsat a zaznamenat co se v případné vzduchové mezeře děje. Je zde předpokládat, že touto metodikou se aspoň trochu více přiblížilo reálnému oblékání člověka. V této metodice měření tepelných ztrát jednotlivých textilních vrstev docházelo díky přenosu tepla především kondukcí a radiací a částečně i konvekcí. Pro ukázkou měření tepelných ztrát touto metodikou byly opět vybrány materiály, které byly použity v předešlé metodice měření.

Postup měření v tomto případě zůstal naprosto shodný s postupem měření v předešlé metodice, jen s tím rozdílem, že tu je o jedno měřicí čidlo teploty navíc. Měřicí čidlo bylo umístěno uprostřed vzduchové mezery, tak aby nedocházelo k přímému kontaktu ani se zdrojem tepelného toku ani zkoušeným materiálem.

Naměřené hodnoty teploty byly opět vyneseny do grafu. Na obrázku 32 jsou vyneseny hodnoty teploty, jak se měnily v čase se změnami okolní teploty a rychlostí proudícího vzduchu pro jednotlivá čidla materiálu bavlny.



Obrázek 32 Naměřené hodnoty teploty pro materiál bavlna, kde mezi materiálem a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera

Opět červená křivka znázorňuje naměřené hodnoty teploty čidlem 1, které bylo položeno na textilií. I v tomto případě modré body na této křivce odpovídají opět ustáleným hodnotám teploty při dané okolní teplotě a proudění okolního vzduchu, pro které byly vypočítány tepelné ztráty textilie. Zelená a žlutá křivka zobrazují průběh teploty v měřícím tunelu. Červené body na zelené křivce též odpovídají hodnotám ustálené teploty pro čidlo 3, které bylo umístěno v zadní části tunelu u ventilátoru. Hnědá křivka reprezentuje naměřené hodnoty čidlem dvě ve vzduchové vrstvě mezi zdrojem tepelného toku a měřeným materiálem. A zelené body na této křivce ukazují též ustálené hodnoty teploty, které budou použity pro výpočet tepelných ztrát textilních materiálů. Ustálené hodnoty pro jednotlivá čidla při dané okolní teplotě a proudění okolního vzduchu pro materiál bavlna jsou v tabulce 17.

Tabulka 17 Ustálené hodnoty teploty pro jednotlivá čidla materiálu bavlna, kdy mezi textilií a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera

Teplota okolí [°C]	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Čidlo 1 teplota [°C]	Čidlo 2 teplota [°C]	Čidlo 3 teplota [°C]	Čidlo 4 teplota [°C]
20	0,73	23,18	29,91	19,97	19,99
	1,7	21,77	29,54	19,98	19,92
	2,1	21,52	29,32	19,97	19,92
10	0,73	14,55	25,19	9,72	9,82
	1,7	12,69	24,84	9,82	9,81
	2,1	12,43	25,17	9,83	9,82
0	0,73	6,86	21,98	0,15	0,3
	1,7	3,84	20	-0,19	-0,12
	2,1	3,62	20,4	-0,05	0,02
-10	0,73	-1,14	18,74	-9,77	-9,6
	1,7	-4,68	15,41	-10	-9,89
	2,1	-5,24	16,56	-10,02	-9,89
-20	0,73	-8,95	14,16	-19,84	-19,6
	1,7	-13,54	13,30	-20,09	-19,92
	2,1	-14,19	12,71	-20,17	-19,98

Tímto způsobem byly odměřeny všechny vybrané materiály. Zhotovené grafy naměřených hodnot teploty pro zbylé materiály jsou uvedeny v příloze 13. Ustálené hodnoty teploty pro jednotlivá čidla ostatních materiálů jsou též uvedeny v příloze 13.

Výpočet tepelných ztrát vrstvou textilie za předpokladu, že mezi textilií a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera

Při výpočtu tepelných ztrát jednotlivých vybraných textilních materiálů způsobených v tomto případě především konvekcí a radiací a částečně kondukcí se při přenosu tepla vycházelo z předpokladů předešlé metodiky. I v tomto případě se



vycházelo z předpokladu, že pokud bude naměřená teplota na povrchu textilie stejná s okolní teplotou v měřícím tunelu, potom byly tepelné ztráty měřené textilie nulové. V případě, že teplota na povrchu textilie se rovnala teplotě ve vzduchové mezeře, potom tepelné ztráty textilie byly stoprocentní. Při výpočtu těchto tepelných ztrát jednotlivých materiálu se vycházelo z rovnice:

$$TZM = \left(1 - \frac{T_f - T_t}{T_{vm} - T_t}\right) \cdot 100 \quad (48)$$

Kde:

TZM tepelné ztráty materiálu [%]

T_f teplota na tkanině naměřená čidlem 1 [°C]

T_t teplota v měřícím tunelu (průměr teplot z čidel 3 a 4) [°C]

T_{vm} teplota ve vzduchové mezeře (čidlo 2) [°C]

Vypočítané tepelné ztráty pro jednotlivé materiály pro danou teplotu a proudění vzduchu nad měřeným materiálem jsou uvedeny v tabulce 18.

Tabulka 18 Vypočítané tepelné ztráty pro jednotlivé materiály, kdy mezi textilií a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera

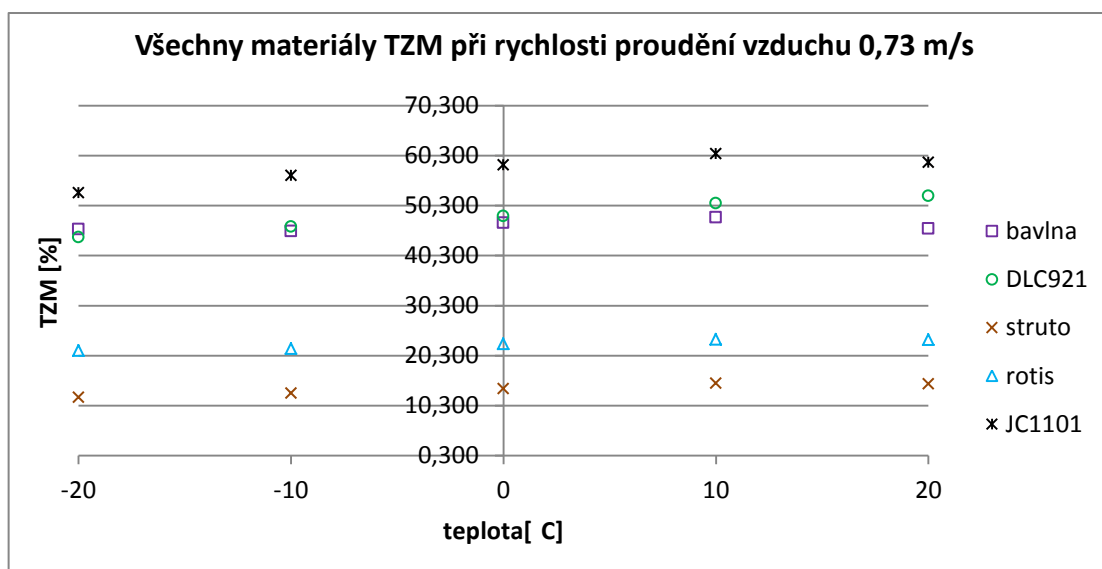
Teplota okolí [°C]	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	TZM materiálu JC1101 [%]	TZM materiálu DLC921 [%]	TZM materiálu Bavlna [%]	TZM materiálu Rotis [%]	TZM materiálu Struto [%]
20	0,73	31,726	30,396	32,226	4,024	2,872
	1,7	19,914	18,130	18,978	3,714	3,064
	2,1	16,454	15,368	16,800	3,460	2,745
10	0,73	34,289	31,793	30,999	4,673	2,132
	1,7	18,902	19,233	19,135	3,461	2,434
	2,1	18,001	16,543	16,976	2,832	2,374
0	0,73	31,509	31,703	30,499	3,669	2,209
	1,7	19,165	18,822	19,821	2,956	2,303



Teplota okolí [°C]	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	TZM materiálu JC1101 [%]	TZM materiálu DLC921 [%]	TZM materiálu Bavlna [%]	TZM materiálu Rotis [%]	TZM materiálu Struto [%]
0	2,1	17,482	17,234	17,806	2,672	2,224
-10	0,73	28,957	32,290	30,062	2,862	2,851
	1,7	19,326	19,314	20,765	2,644	2,276
	2,1	16,128	17,784	17,782	2,519	2,190
-20	0,73	27,188	32,523	31,792	4,085	1,749
	1,7	19,437	17,760	19,411	2,516	1,674
	2,1	18,497	17,688	17,953	2,278	1,938

2.3.4 Vyhodnocení tepelných ztrát textilií z předešlých dvou metodik

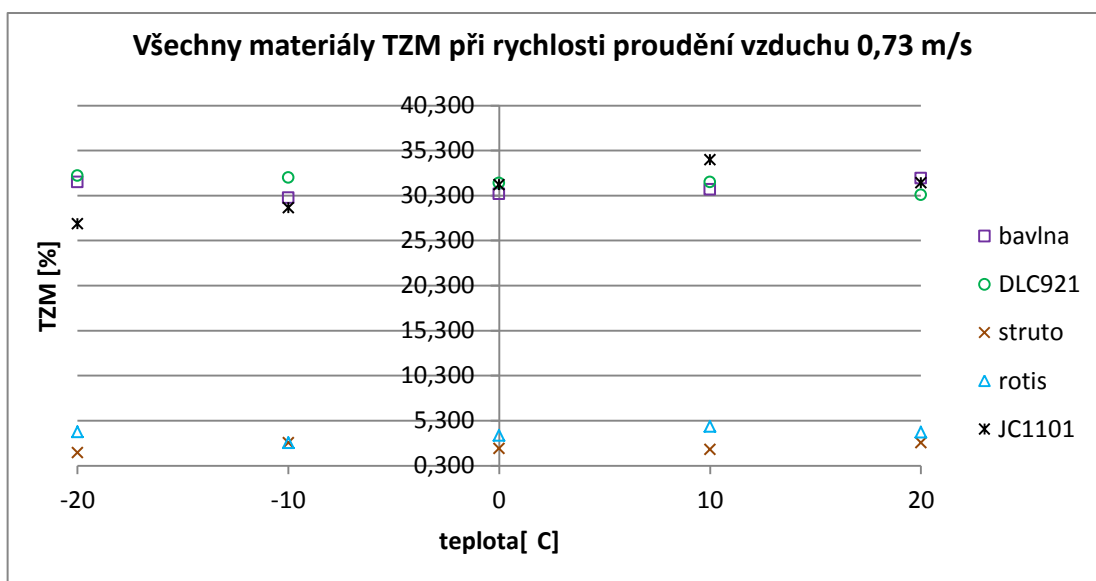
Po vynesení vypočítaných tepelných ztrát při dané okolní teplotě do jednotlivých grafů dle rychlosti proudění okolního vzduchu, v případě kdy byla textilní vrstva v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku, se ukázalo, že při dané rychlosti proudění vzduchu jsou tepelné ztráty pro jednotlivé okolní teploty daného materiálu téměř shodné. Touto metodikou byly zjištěny nejmenší tepelné ztráty u materiálu struto a to při všech rychlostech proudění okolního vzduchu. Další nejmenší tepelné ztráty vykazoval materiál rotis, po něm materiál bavlna a materiál DLC921. Největší tepelné ztráty vykazoval materiál JC1101. Vypočítané tepelné ztráty jednotlivých materiálů se pohybovaly v rozmezí od cca 8 do 57 %, viz graf 8 vypočítaných tepelných ztrát.



Graf 8 Vypočítané tepelné ztráty materiálů pro dané okolní teploty a rychlosti 0,73 m/s proudění okolního vzduchu, kdy materiál je v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku

Grafy s vypočítanými tepelnými ztrátami materiálu pro ostatní rychlosti proudění jsou uvedeny v příloze 14.

Stejným způsobem byly vyhodnoceny i materiály z druhé metodiky, kdy mezi zkoušeným materiálem a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera. V tomto případě s nejmenšími tepelnými ztrátami vyšel opět materiál struto a hned za ním materiál rotis. Bohužel pořadí dalších materiálů už není zcela jednoznačné, viz graf 9.



Graf 9 Vypočítané tepelné ztráty materiálů pro dané okolní teploty a rychlosti 0,73 m/s proudění okolního vzduchu, kdy mezi materiálem a zdrojem tepelného toku je vzduchová mezera

Jak je vidět z vypočítaných hodnot tepelných ztrát jednotlivých materiálů, tak v případě vzduchové mezery měl na tepelné ztráty velký vliv rychlost proudícího vzduchu nad zkoušeným materiálem a též byly ztráty ovlivněny porozitou a tloušťkou jednotlivých materiálů. Vypočítané tepelné ztráty těchto materiálů se pohybovaly v rozmezí od 2 do 35 %. Při porovnání obou metodik je zcela zřejmé, že menších tepelných ztrát bylo docíleno, když je mezi textilií a zdrojem tepelného toku vzduchová mezera. Což je i správné, jelikož tepelná vodivost vzduchu je velmi malá. Jak je, ale z výsledků obou metodik patrné, tepelné ztráty například u materiálu struto jsou téměř zanedbatelné a materiál by mohl být použit jako dobrý tepelný izolant. I u ostatních měřených materiálů, kde by se dalo očekávat, že budou tepelné ztráty vcelku veliké, dosahují vypočítané tepelné ztráty vcelku až podezřele malých hodnot. Z tohoto důvodu bylo nutné se zamyslet, zda měření hodnot teplot tímto způsobem je správný a zda měřené hodnoty nejsou něčím ovlivněny a zda použité čidla teploty měří opravdu správné hodnoty. Doposud nebyla ověřena ani povrchová teplota destičky. Vycházelo se z toho, že měď je skvělý vodič tepla, a že teplota co je měřená uprostřed destičky vpichovým teploměrem odpovídá i teplotě povrchu měděné destičky. Tyto všechny pochybnosti bylo nutné si ověřit.



2.3.5 Ověřování správnosti měření teplotních čidel a teploty povrchu destičky

Pro ověření správnosti měření teplotního čidla, které je umístěno na povrchu textilie, byl zvolen následující postup. Měřicí tunel byl umístěn do klimatické komory a na povrch měděné destičky bylo umístěno teplotní čidlo, které mělo sledovat teplotu povrchu této destičky. Měděná destička byla ohřáta na teplotu 37 °C a v klimatické komoře byla nastavena okolní teplota 20 °C a vlhkost 65 %. Rychlost proudění vzduchu v tunelu byla nastavena na hodnotu 0,73 m/s. Při dosažení těchto hodnot bylo opět zapnuto ukládání naměřených hodnot teploty. Teplota v komoře byla přenastavena na hodnotu – 20 °C a čidlo 1 na povrchu mělo zaznamenat, zda se nastavená teplota na povrchu měděné destičky udrží i při takto velkém teplotním rozdílu s okolní teplotou. Při dosažení teploty cca -21 °C v klimatické komoře bylo ukládání dat zastaveno a komora byla vypnuta. Zaznamenané hodnoty byly vyneseny do grafu, kde se ukázalo, že při teplotě 20 °C v klimatické komoře čidlo, které bylo umístěno na povrchu měděné destičky, naměřilo teplotu 29,3 °C. Při postupném ochlazování vzduchu v klimatické komoře docházelo k postupnému poklesu teploty i u čidla, umístěného na povrchu měděné destičky. Při dosažení teploty – 20 °C v klimatické komoře toto čidlo naměřilo teplotu pouze cca 14,7 °C. Při samotném kontaktu ruky s povrchem měděné destičky se zdálo být teplota povrchu zdánlivě vyšší, než byla naměřena teplotním čidlem. Pokud by to byla pravda, znamenalo by to, že používaná teplotní čidla nedokázala naměřit teplotu přímo na povrchu daného tělesa. Bylo tedy nutné tuto domněnku potvrdit či vyvrátit.

Pro ověření skutečné teploty povrchu měděné destičky byla vybrána metodika měření povrchu teploty bezdotykovým způsobem pomocí termokamery, kterou mají na Katedře oděvnictví. Měření termokamerou proběhlo za asistence Ing. Chotěbora a Ing. Třešňáka z též katedry. Měděná destička byla za pomoci regulátoru teploty ohřáta na teplotu 37 °C a pomocí termokamery byla naměřena povrchová teplota. Teplota povrchu destičky naměřená termokamerou vycházela v rozmezí od cca 25 do 29 °C, jak se teplota dle rozmístění na destičce měnila. Měření probíhalo při okolní teplotě cca 21 °C a tunelem byl vháněn vzduch 0,73 m/s. Záznam z měření termokamerou bohužel

nebyl zaznamenán, jelikož termokamera neobsahovala paměťovou kartu. Použitá termokamera měří teplotu s přesností $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, a aby měření bylo co nejpřesnější, měl by být povrch měřeného tělesa natřen speciální černou barvou a samotné měření by mělo probíhat v temné komoře.

Bohužel přesnost měření termokamerou byla pro tento případ nedostačující. Pan Ing. Třešňák pro přesné naměření teploty doporučil univerzální dataloger ALMEMO s dotykovým teplotním čidlem, který je na obrázku 33 a mají ho též na katedře oděvnictví.



Obrázek 33 Dataloger ALMEMO 2590-4AS a zahnuté dotykové teplotní čidlo FTA104PH [42,43]

Měřicí zařízení dataloger ALMEMO s 4 univerzálními vstupy a 2 výstupy dokázalo při použití speciálně programovatelných ALMEMO konektorů připojit jakékoliv čidlo pro měření fyzikálních, chemických a elektrických veličin. Toto měřicí zařízení disponuje pamětí pro uložení až 100000 naměřených hodnot za daný čas. Tyto data je potom možné nahrát do počítače. Zařízení je velice přesné a dokáže provést až 10 měření za sekundu. Aktuálně měřené hodnoty měřených veličin se ukazují na LCD displeji. Pro měření teploty povrchu měděné destičky bylo použito zahnuté dotykové teplotní čidlo FTA104PH. Jedná se o čidlo s rychlou odezvou, které je zahnuté o 90° .

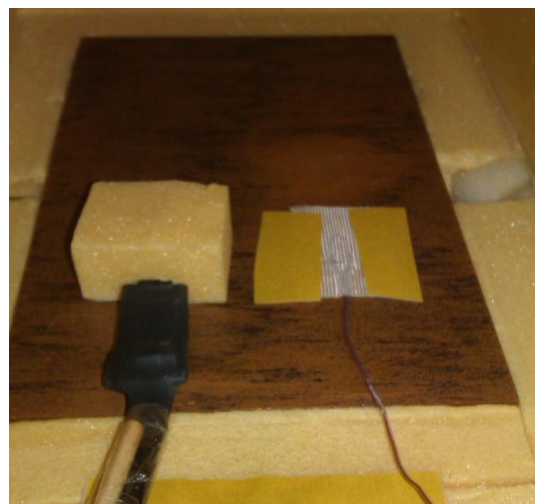


Teplota je měřena pomocí termočlánku K, které má měřicí rozsah -50 až 500 °C. Průměr měřící hlavice je 15 mm a délka 180 mm [42,43].

Měření teploty povrchu měděné destičky vypadalo následovně. Měděná destička byla vyhřáta na teplotu 37,0 °C, kterou ukazoval vpichovací teploměr umístěný do středu měděné desky, a na této teplotě byla udržována. Rychlost proudění vzduchu nad měděnou destičkou byla 0,73 m/s a okolní teplota byla 21 °C. Zahnuté dotykové čidlo bylo připojeno pomocí konektoru k datalogeru ALMEMO. Dotykové čidlo bylo různě umístováno po celém povrchu měděné desky. Naměřené teploty povrchu desky se pohybovali v rozmezí od 36,8 do 37 °C. Nejchladnější místa byla naměřena v zadních rohách desky, které jsou nejbližší k ventilátoru a jinak téměř na celém povrchu si udržovala teplotu na 37 °C. Tímto způsobem bylo prokázáno, že i na povrchu destičky se pohybuje teplota okolo 37 °C. Bohužel se tedy potvrdila domněnka, že používaná teplotní čidla od firmy Sensirion, měří teplotu přesně jen v případě umístění čidel ve volném prostoru. V případě použití k měření teploty na rozhraní dvou prostředí, jako je to v případě umístění čidla na povrch textilie, kde jedno prostředí má například teplotu okolo 25 °C a okolní teplota je například 0 °C, nenaměří tyto čidla pouze teplotu prostupující z textilií, ale výsledná naměřená hodnota bude ovlivněna i okolní teplotou. Jelikož materiál použitý na obal čidla je tepelně vodivý a tím pádem je ovlivněna i měřená teplota. Bohužel tuto skutečnost neuvádí ani samotný výrobce čidel. Tímto způsobem se bohužel došlo k zjištění, že naměřené hodnoty teploty čidlem 1, které bylo v obou předešlých metodikách umístěno na povrchu textilie, nejsou odpovídající hodnoty teploty, která skutečně textilií prostupuje. Bohužel se nedá zjistit, s jakou chybou teplotní čidlo na povrchu textilie měří. Z tohoto důvodu ani vypočítané hodnoty tepelných ztrát textilií v předešlých dvou navrhovaných metodikách nejsou správné, což se ukázalo u některých textilií jejich nízkými tepelnými ztrátami.

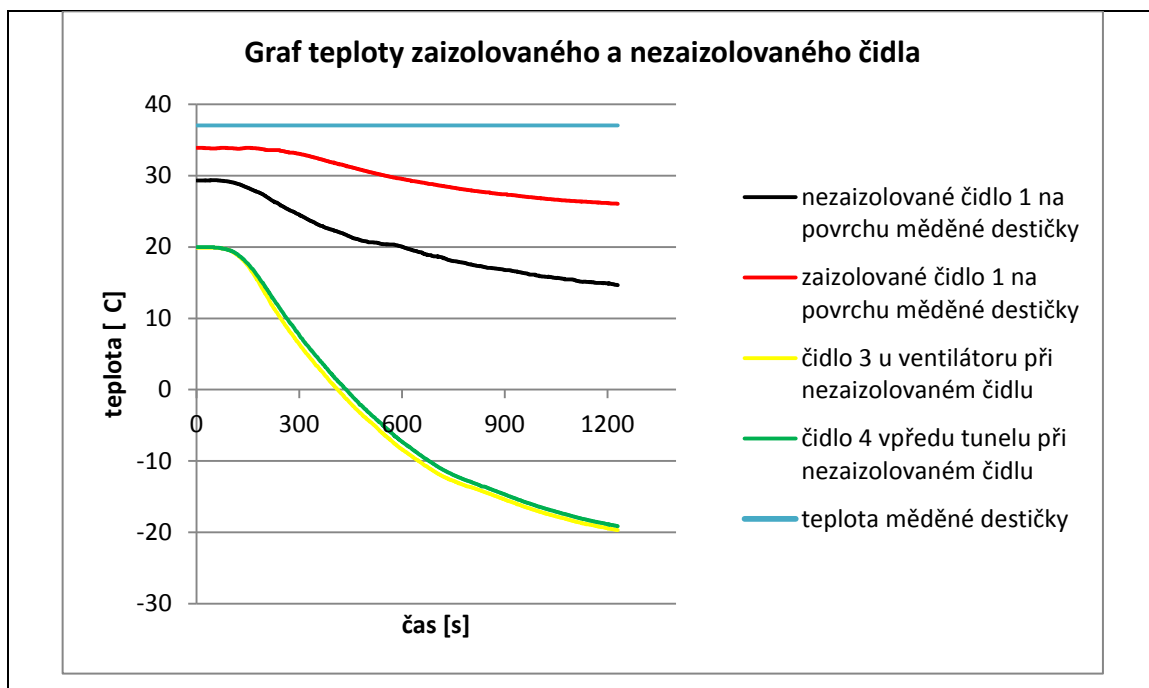
Pro pokus zlepšit přesnost měření bylo ještě čidlo od firmy Sensirion vloženo do zhotoveného obalu z extrudovaného polystyrenu, který měl úkol pokusit se o odizolování čidla od okolního prostředí. Vložené čidlo v extrudovaném polystyrenu je na obrázku 34. Pro porovnání měřícího čidla teploty ještě s dalším teplotním čidlem bylo zapůjčeno ještě jedno čidlo teploty z Katedry oděvnictví, které bylo pomocí

konektoru připojeno k datalogeru ALMEMO. Zapůjčené dotykové teplotní čidlo měří teplotu v rozsahu od -25 do 200 °C. Zaizolované čidlo od firmy Sensirion společně se zapůjčeným čidlem teploty bylo umístěno na vyhřívanou měděnou desku, viz obrázek 34.



Obrázek 34 Uložení čidla teploty v extrudovaném polystyrenu a umístění tohoto čidla i se zapůjčeným čidlem na měděné destičce

Opět proběhlo měření povrchu vyhřívané měděné destičky těmito dvěma teplotními čidly stejným způsobem a za stejných podmínek, jako to bylo již provedeno dříve s teplotním čidlem od firmy Sensirion. Naměřená data ze zaizolovaného čidla byla opět ukládána do počítače, ale data naměřená se zapůjčeným čidlem byly zobrazovány na displeji datalogru ALMEMO. Naměřené hodnoty teploty tímto čidlem byly vždy při poklesu teploty v klimatické komoře o cca 5 °C z displeje opsány. Po dosažení teploty – 20 °C v klimatické komoře byla komora otevřena a pomocí zahnutého dotykového teplotní čidlo FTA104PH byla změřena teplota povrchu měděné destičky. Byla naměřena teplota od 36,7 do 36,9 °C. Opět nejchladnější místa byla naměřena v zadních rohách destičky. Tímto způsobem bylo ověřeno, že i při okolní teplotě – 20 °C si měděná destička na povrchu udrží požadovanou teplotu. V grafu 10 je ukázáno, jak se s okolní teplotou měnila teplota na čidlu od firmy Sensirion pro případ, že čidlo nebylo zaizolováno a stejné čidlo s izolací.



Graf 10 Naměřené hodnoty teploty nezaizolovaným a zaizolovaným teplotním čidlem od firmy Sensirion umístěné na povrchu měděné destičky

Jak je již z grafu naměřených hodnot teploty zaizolovaného a nezaizolovaného čidla patrné, tak přesnost měření zaizolovaného čidla se výrazně zlepšila. V tabulce 19 jsou pro porovnání vyneseny teploty povrchu měděné destičky naměřené nezaizolovaným, zaizolovaným a zapůjčeným čidlem při různých teplotách okolního prostředí, rychlosti proudícího vzduchu 0,73 m/s a teplotě destičky 37 °C.

Tabulka 19 Naměřené teploty povrchu měděné destičky různými teplotními čidly

Teplota v klimatické komoře [°C]	Naměřená teplota nezaizolovaným čidlem [°C]	Naměřená teplota zaizolovaným čidlem [°C]	Naměřená teplota zapůjčeným čidlem [°C]
20	29,3	33,83	35,2
15	27,68	33,8	35,0
10	26,11	33,54	34,5
5	24,84	33,15	34,1
0	22,73	32,1	33,3
-5	20,83	30,69	32,3



Teplota v klimatické komoře [°C]	Naměřená teplota nezaizolovaným čidlem [°C]	Naměřená teplota zaizolovaným čidlem [°C]	Naměřená teplota zapůjčeným čidlem [°C]
-10	20,16	29,6	31,8
-15	17,34	27,84	31,0
-20	14,78	26,22	29,9

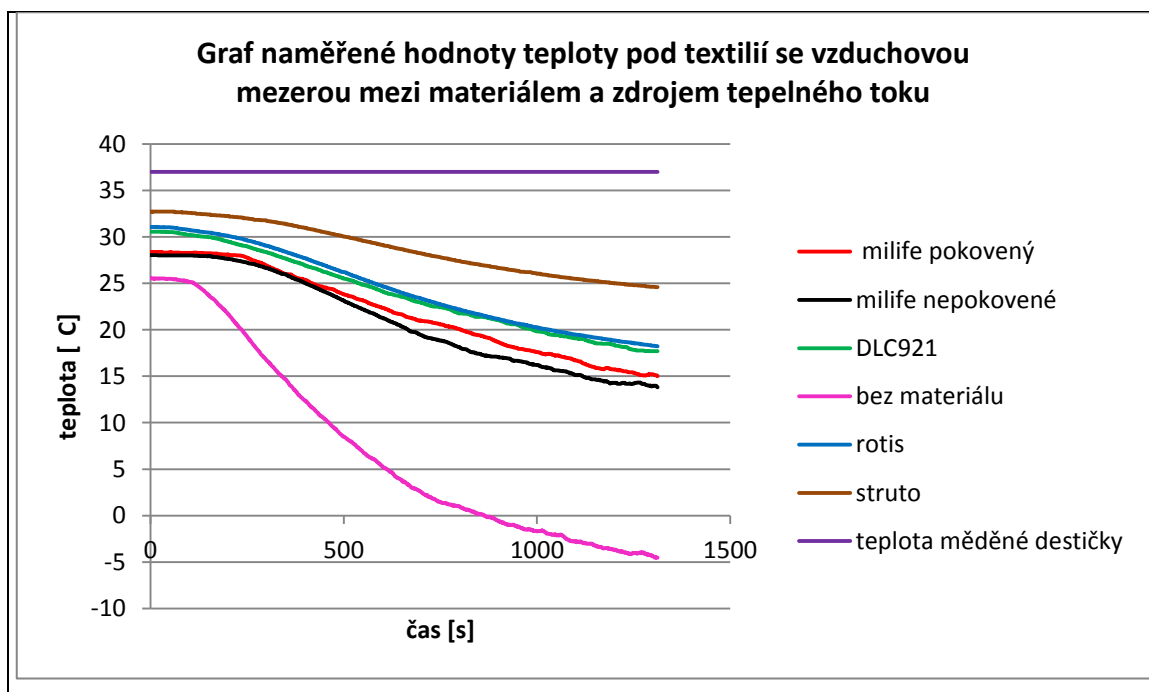
Jak je z tabulky patrné, tak nejlépe z pokusu vyšlo zapůjčené dotykové čidlo. Bohužel ani to neměří s takovou přesností, aby mohlo být použito k měření prostupujícího tepla z textilie. Z tohoto důvodu bylo nutné navržení jiné metodiky měření tepelných ztrát, kde by nebylo použito teplotní čidlo na povrchu textilie.

2.3.6 Rychlá metodika měření tepelných ztrát se vzduchovou mezerou

U obou předešle navrhovaných metodik byl největší problém s měřením teploty na povrchu textilie. Obě metodiky byly časově velice náročné na určování tepelných ztrát jednotlivých materiálů z hlediska, dlouhých prodlev, které byly nutné k ustálení teplot jednotlivých čidel. Další velkou nevýhodou předešlých metodik je, že nemohl být použit celý záznam naměřených hodnot teploty pro vyhodnocování tepelných ztrát z důvodu proměnlivé rychlosti ustálení hodnot teploty na jednotlivých čidlech. Z tohoto důvodu byla odzkoušena další možná metodika měření tepelných ztrát, kde pro vyhodnocování nebudou použity hodnoty teploty na povrchu textilie. Navrhovaná metodika byla oproti předešlým rychlejší a měla ukázat tepelné ztráty zkoumaných materiálů. I v tomto případě byla snaha navrženou metodikou se co nejvíce přiblížit umístění oblečení na nositeli. Z tohoto důvodu byla i zde mezi zkoumanou textilií a zdrojem tepelného toku ponechána 15 mm vzduchová mezera. Při měření touto metodikou se postupovalo následovně.

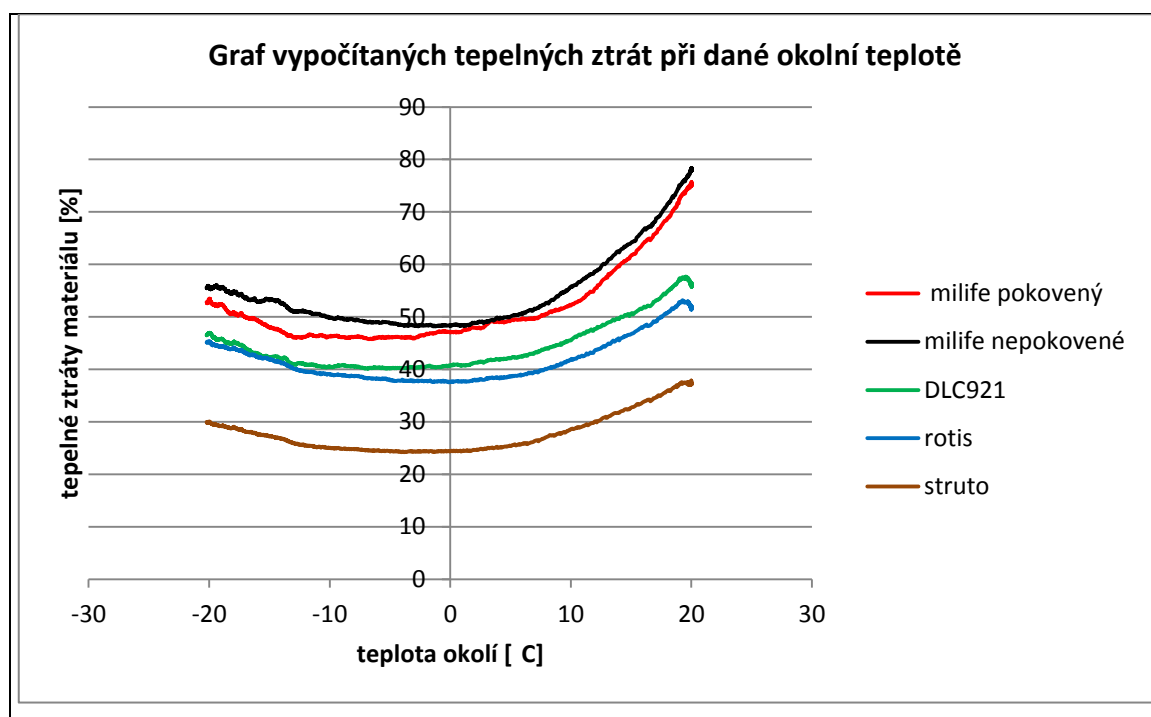
Vzorek byl umístěn do měřicího tunelu. Čidlo teploty 1 nebylo pro tuto metodiku používáno. Ve vzduchové mezeře bylo ponecháno teplotní čidlo 2, které jako již v předešlé metodice snímalo teplotu ve vzduchové mezeře. Čidla 3 a 4 byly

ponechány na stejných místech jako u předchozích měření. Celý tunel byl umístěn do klimatické komory, měřící čidla byla připojena k multiplexu a ten k počítači. V klimatické komoře byla nastavena teplota 20 °C a vlhkost 65 %. Rychlost proudění v tunelu byla nastavena na hodnotu 0,73 m/s a tato hodnota zůstala po celé měření stejná. Teplota vyhřívané destičky byla opět za pomoci regulátoru udržována po celou dobu měření na teplotě 37 °C. Po ustálení teploty a vlhkosti v klimatické komoře, ustálení teploty zdroje tepelného toku bylo v počítači zahájeno ukládání naměřených hodnot teploty pro jednotlivá čidla. Teplota v klimatické komoře byla přenastavena na – 20 °C a byl zaznamenáván průběh, jak se mění teplota ve vzduchové mezeře s měnící se okolní teplotou. Výhodou této metodiky je, že teplota v komoře poklesla na požadovaných cca -20 °C vždy za stejný čas a proto pro vyhodnocování tepelných ztrát mohl být použit celý záznam teploty z jednotlivých čidel. Po dosažení teploty cca -21 °C v klimatické komoře byl záznam ukládání hodnot zastaven a klimatická komora byla vypnuta. Tímto způsobem byly odměřeny materiály DLC921, rotis, struto, milife pokovené a nepokovené. Stejným způsobem byla odměřena teplota ve vzduchové mezeře, když nad vzduchovou mezerou nebyl umístěn žádný z materiálů. Naměřená data z čidla dvě pro jednotlivé materiály jsou znázorněna v grafu 11.



Graf 11 Naměřených teplot ve vzduchové mezeře pro jednotlivé materiály při okolní teplotě od 20 do -20 °C

Při výpočtu tepelných ztrát touto metodikou se vycházelo z předpokladu, že pokud byla naměřena ve vzduchové mezeře teplota, která odpovídala teplotě zdroje tepelného toku (v tomto případě teplotě 37 °C), tepelné ztráty byly nulové. Pokud byla ve vzduchové mezeře naměřena teplota, která se rovnala naměřené hodnotě ve stejný čas, kdy byla teplota v mezeře měřena bez materiálu, tak tepelné ztráty materiálu byly 100 %. Vypočítané hodnoty tepelných ztrát daných materiálů byly vyneseny do grafu, jak se mění s okolní teplotou., viz graf 12.



Graf 12 Vypočítané tepelné ztráty materiálu při dané teplotě okolí pro případ, že mezi materiálem a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera

Jak je vidět ze zhotoveného grafu, tak nejmenší tepelné ztráty opět vykazuje materiál struto, kde se tepelné ztráty pohybují v rozmezí od cca 24 do 38 %. Naopak největší tepelné ztráty vykazuje materiál milife nepokovený, kde se tepelné ztráty tohoto materiálu pohybují v rozmezí od 48 do 78 %. Materiály milife byly do práce vybrány z důvodu, aby se prokázalo, zda pokovení tohoto materiálu bude mít i vliv na jeho tepelné ztráty. Bohužel je natolik tenký, že na běžně používaném zařízení například k měření tepelné vodivosti jako je Alambeta nelze odměřit. Díky této metodice měření bylo



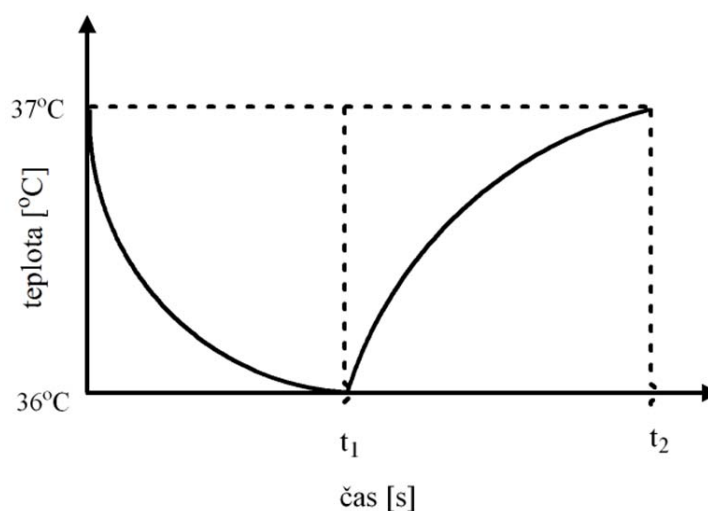
prokázáno, že pokovený materiál vykazuje menší tepelné ztráty než tentýž materiál nepokovený, kdy k tepelným ztrátám dochází kondukci a radiací. Tato metodika je ve srovnání s předchozími navrhovanými metodikami výrazně rychlejší a dokáže nám objektivně popsat tepelné ztráty materiálů při dané okolní teplotě a rychlosti proudění okolního vzduchu. Lze použít například pro rychlé ověření více materiálů, s cílem vybrat materiál s co nejmenšími tepelnými ztrátami při konkrétní teplotě a proudění okolního vzduchu, při které bude nejčastěji využíván. Nevýhodou této metodiky stále zůstává, že nedokážeme popsat, jaké děje probíhají ve vzduchové mezeře.

2.3.7 Metodika měření tepelných ztrát materiálu při zakrytí destičky vrstvami téže textilie

Snahou bylo navrhnout ještě jinou metodiku měření tepelných ztrát a stupně izolace materiálu, bez použití teplotních čidel. V tomto případě tepelné ztráty materiálu odpovídají ztrátovému výkonu zdroje tepelného toku, který je pokryt různým počtem vrstev stejné textilie. Pro tuto metodiku měření byl vybrán materiál počesaná bavlna, která je postupně vrstvena od 1 do 5 vrstev a zjišťuje se stupeň izolace a ztráty tepelného výkonu při daných vrstvách tohoto materiálu, dané okolní teplotě a proudění okolního vzduchu. Při volbě materiálu byl vybrán takový materiál, aby byla docílena optimální délka měření. Zvolená bavlna vykazuje vysoký přestup tepla, a z tohoto důvodu byla vybrána pro tento pokus jako nejvhodnější z použitých předchozích materiálů. I v tomto případě jsou tepelné ztráty zvolené textilie a stupně izolace zkoumány při okolní teplotě 20, 10, 0, -10 a -20 °C a při rychlosti proudění okolního vzduchu 0,73, 1,7 a 2,1 m/s. Textilie je pro tento druh měření nejprve v přímém kontaktu se zdrojem tepelného a stejný princip je zopakován se vzduchovou mezerou mezi textilií a zdrojem tepelného toku. Postup měření byl následující.

Jedna vrstva počesané bavlny byla opět připevněna na zhotovený rámeček a byla umístěna do měřicího tunelu. Tunel byl umístěn do klimatické komory a teplota v komoře byla nastavena na počáteční teplotu 20 °C a vlhkost 65 %. Zdroj tepelného toku byl vyhřát na hodnotu 37,0 °C a rychlost proudění byla nastavena na hodnotu 0,73

m/s. Pro zjišťování tepelných ztrát materiálu se bude vycházet z předpokladu, který je na obrázku 35.



Obrázek 35 Způsob zjišťování stupně izolace materiálu a ztrát tepelného výkonu

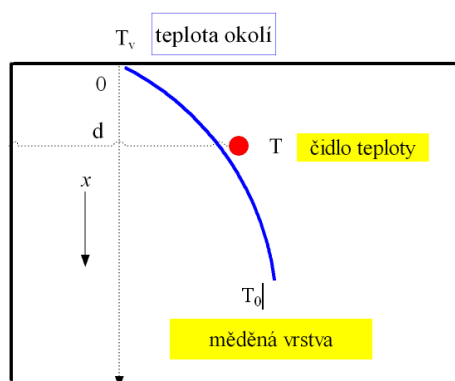
Zdroj tepelného toku byl ohříván na hodnotu 37,0 °C při daném výkonu, který zůstával po celý čas měření stejný. Pro ohřev měděné destičky byl zvolen proud o hodnotě 2,6 A a napětí o velikosti 4,8 V. Velikost těchto hodnot byla zvoleno, aby při vyšších okolních teplotách nedocházelo k přetápní měděné destičky a v případě nízkých okolních teplot, aby byla měděná destička schopna se na danou teplotu dohřát. Při dosažení hodnoty 37,0 °C bylo vyhřívání zdroje tepelného vypnuto a pomocí stopky byl měřen čas, za který teplota zdroje tepelného toku klesla na hodnotu 36,0 °C. Při dosažení teploty zdroje tepelného toku 36,0 °C bylo opět zapnuto vyhřívání a pomocí stopky byl měřen čas, za který teplota dosáhla opět hodnoty 37,0 °C. Tímto způsobem byl tedy sledován vzrůst a pokles teploty o 1 °C. Tímto způsobem bylo provedeno 5 měření chladnutí a ohřevu destičky. Poté byla rychlost v tunelu přenastavena na hodnotu 1,7 m/s a opět bylo provedeno 5 měření při této rychlosti proudění. To samé bylo provedeno ještě při rychlosti proudění 2,1 m/s. Po odměření těchto tří rychlostí byla teplota v klimatické komoře přenastavena na teplotu 10 °C. Po ustálení teploty vzduchu v komoře na nastavené hodnotě bylo opět provedeno 5 měření při všech třech rychlostech proudění vzduchu. Tímto způsobem bylo provedeno ještě měření při teplotě 0, -10 a -20 °C při 3 zvolených rychlostech proudění vzduchu. Při okolní teplotě -20 °C,

rychlosti 2,1 m/s proudění okolního vzduchu a pro 1 a 2 vrstvy byly z časových důvodů provedeny jen 3 měření. Stejným způsobem byly postupně odměřeny 2, 3, 4 a 5 vrstev bavlny. Zaznamenané hodnoty času jsou uvedeny v příloze 16. Stejným způsobem byl proveden experiment s 15 mm vzduchovou mezerou mezi materiálem a zdrojem tepelného toku, kdy tímto způsobem byly odměřeny 1, 2 a 3 vrstvy počesané bavlny. I tyto zaznamenané hodnoty času jsou uvedeny v příloze 16.

2.3.7.1 Výpočet ztrát tepelného výkonu materiálu při zakrytí destičky vrstvami stejné textilie

Pokud materiál na povrchu zdroje tepelného toku ideálně izoluje, nedojde k poklesu teploty tohoto zdroje, čas potřebný k ohřevu v místě čidla teploty vzdáleného o d [m] od povrchu bude $t_2 = 0$ a žádné teplo není třeba dodat.

Pokud materiál vůbec neizoluje (teplota u povrchu zdroje tepelného toku bude stejná jako teplota okolí), dojde k rychlému poklesu teploty o 1°C v místě umístění čidla teploty, a čas potřebný chlazení t_{1N} bude malý. Pro jeho odhad lze použít řešení chlazení polo-nekonečné vrstvy popsané např. v knize [44]. Vychází se z představy, že kovová vrstva teploty T_0 je náhle vložena do chladicího prostředí, kde je udržována konstantní teplota T_v . Pro zjednodušení se předpokládá, že povrch kovové vrstvy má teplotu T_v shodnou s teplotou okolí a v okolí se neprojevuje teplotní difference (dokonalé míchání). Polo- nekonečná vrstva zaujímá prostor od povrchu (souřadnice $x = 0$ (viz. obrázek 36).



Obrázek 36 Měření teploty v kovové desce při chlazení



Účelem je popsat časovou závislost rozdělení teploty ve vrstvě $T = T(x)$, když se předpokládá, že dostatečně daleko od povrchu je teplota vrstvy stále T_0 . Počáteční a okrajové podmínky pro přenos tepla jsou:

Při $t = 0$, je pro všechna $x > 0$ teplota $T = T_0$

Při $x = 0$, je pro všechna $t > 0$ teplota $T = T_v$

Při $x \rightarrow \infty$ je pro všechna $t > 0$ teplota $T = T_0$

Předpokládejme, že tepelná vodivost kovu k [J/s.m.K] je konstantní. Diferenciální rovnice přenosu tepla vedením má tvar [45]

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (49)$$

Zde c [J/m K] je měrné teplo při konstantním objemu a ρ [kg/m³] je hustota kovu. Zavedením bezrozměrné teploty:

$$T^* = \frac{T - T_0}{T_v - T_0} \quad (50)$$

a parametru $a = k/(\rho c)$ přejde diferenciální rovnice (49) na tvar:

$$\frac{\partial T^*}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T^*}{\partial x^2} \quad (51)$$

Analytické řešení této diferenciální rovnice má tvar [44].

$$T^* = \frac{T - T_0}{T_v - T_0} = \text{erf} \frac{x}{\sqrt{4at}} \quad (52)$$

Zde $\text{erf}(x)$ je integrál chyby definovaný vztahem:

$$\text{erf} x = \frac{2}{\pi} \int_0^x \exp -t^2 dt \quad (53)$$



Tato funkce se nedá vyjádřit v explicitním tvaru, ale možné použít jednoduché aproximace její inverze [46]

$$\operatorname{erf}(t)^{-1} = \frac{-9,4 \ln(\frac{1}{T-1})}{|\ln(\frac{1}{T-1})| + 14} \quad (54)$$

Z rov. (52) a rov. (54) lze vypočítat čas t_{1N}^* [s], pro který bude v místě d teplota T, tedy:

$$t_{1N}^* = \frac{\rho c}{4k} d \frac{|\ln(\frac{1}{T^*-1})| + 14}{-9,4 \ln(\frac{1}{T^*-1})}^2 \quad (55)$$

Pro odhad času t_{1N}^* je třeba volit, že $T = 36 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_0 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$, T_v jako zvolenou teplotu okolí a $d = 0,005 \text{ m}$. Vrstva je z mědi a pro měď lze nalézt $c = 390 \text{ J/(kg K)}$, $\rho = 8790 \text{ kg/m}^3$ a tepelnou vodivost $k = 386,013 \text{ W/(m K)}$ [47].

V reálném případě vždy vyjde nenulový čas t_2 [s] a teplo Q [J] potřebné pro ohřev zdroje tepelného toku z 36 na $37 \text{ }^\circ\text{C}$ odpovídá hodnotě vypočítané pomocí rovnice:

$$Q = t_2 UI \quad (56)$$

Kde U je elektrické napětí [V] a I je elektrický proud [A] dodávaný zdroji tepelného toku.

Stupeň izolace w se vypočítá z rovnice:

$$w = \frac{t_1 - t_{1N}^*}{(t_1 + t_2) - t_{1N}^*} \quad (57)$$

Kde:

t_1 doba vypnutí ohřevu pro snížení teploty zdroje tepelného toku z $37,0$ na $36,0 \text{ }^\circ\text{C}$ [s]

t_2 doba zapnutí ohřevu pro zvýšení teploty zdroje tepelného toku z $36,0$



Stupeň izolace se pohybuje v intervalu od 0 pro ideálně neizolující materiál do 1 pro ideálně izolující materiál.

Ztráta tepelného výkonu W_S [W] se potom spočítá z rovnice:

$$W_S = 1 - w \quad UI \quad (58)$$

Vypočítané hodnoty teploty T^* z rovnice 52 a časy t_{IN}^* z rovnice 55 pro dané teploty okolí jsou uvedeny v tabulce 20.

Tabulka 20 Vypočítané hodnoty teploty T^* a časy t_{IN}^* pro dané teploty okolí

Teplota okolí [°C]	20	10	0	-10	-20
$T^* [°C]$	0,059	0,037	0,027	0,021	0,018
$t_{IN}^* [s]$	0,045	0,035	0,030	0,027	0,025

Vypočítaný čas t_{IN}^* vychází poměrně malý. Z tohoto důvodu byl odzkoušen ještě experiment, kdy byla snaha čas t_{IN}^* určit experimentálně. V tomto případě by byly místo hodnoty času t_{IN}^* brány naměřené hodnoty času pro ohřev nezakrytého zdroje tepelného toku o 1 °C. Bohužel, nezakrytý zdroj tepelného toku se choval zcela odlišně od zakrytého a z tohoto důvodu pro výpočet tepelné izolace byly brány časy t_{IN}^* z tabulky 20. Vypočítané množství tepla z rovnice 56, které je potřeba pro ohřev zdroje tepelného toku z 36,0 na 37,0 °C pro různé vrstvy bavlny v přímém kontaktu s destičkou při daných teplotách okolního vzduchu a rychlosti proudění okolního vzduchu jsou uvedeny v příloze 16.

Jak je z vypočítaných hodnot množství tepla patrné, tak s klesající okolní teplotou se zvyšuje množství tepla, které je potřeba dodat zdroji tepelného toku, aby se ohřála o 1 °C. To samé platí i s rostoucí rychlostí proudění vzduchu je pro ohřev zdroje tepelného toku potřeba více množství tepla. Naopak s přibývajícemi vrstvami textilie se množství tepla pro ohřev zdroje tepelného toku snižuje. Vypočítané hodnoty stupně



izolace materiálu z rovnice 57 pro jednotlivé vrstvy bavlny v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku při daných okolních teplotách a rychlostech proudění okolního vzduchu jsou uvedeny v příloze 16. Z vypočítaných hodnot je vidět, že s přibývajícemi vrstvami textilie se stupeň izolace zvyšuje. Naopak s klesající teplotou klesá i stupeň izolace a to samé platí i pro rychlost proudění, kde se zvětšující se rychlostí proudění též klesá stupeň izolace materiálu.

Vypočítané tepelné ztráty z rovnice 58 pro jednotlivé vrstvy bavlny v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku při daných okolních teplotách a rychlostech proudění okolního vzduchu jsou uvedeny v tabulce 21. Kde tepelné ztráty jsou myšleny, jako tepelné ztráty zdroje tepelného toku, které se odvíjí od zakrytí zdroje jednotlivými vrstvami textilie.

Tabulka 21 Vypočítané tepelné ztráty pro jednotlivé vrstvy bavlny v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku při daných okolních teplotách a rychlostech proudění okolního vzduchu

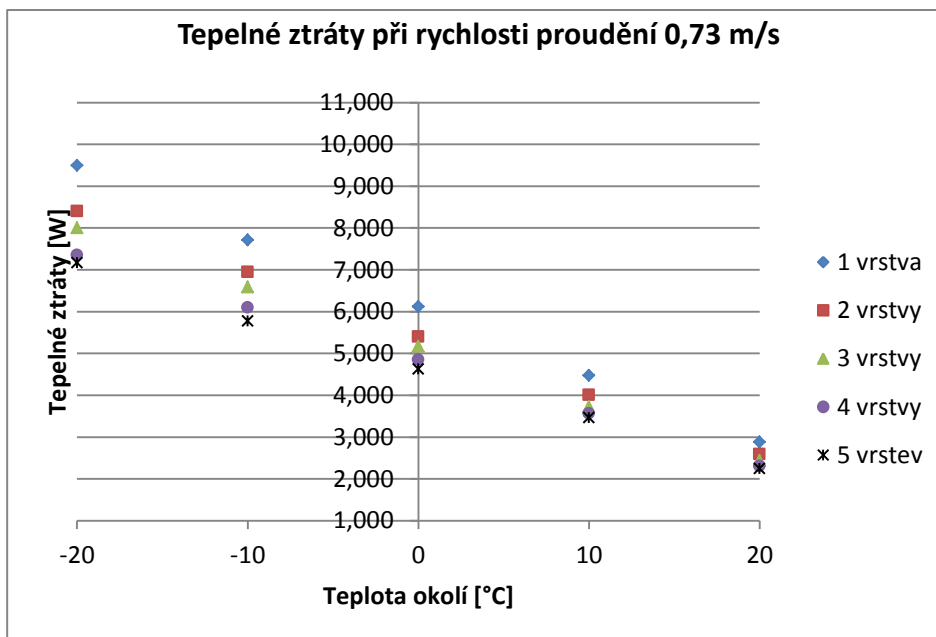
Počet vrstev bavlny	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Tepelné ztráty [W]				
		Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]
		20	10	0	-10	-20
1	0,73	2,883	4,477	6,122	7,720	9,501
	1,7	3,516	5,434	7,491	9,290	11,447
	2,1	3,801	5,979	8,230	10,266	12,241
2	0,73	2,595	4,012	5,407	6,948	8,406
	1,7	3,080	4,855	6,559	8,297	10,032
	2,1	3,278	5,121	6,946	8,687	10,519
3	0,73	2,444	3,731	5,176	6,589	8,004
	1,7	2,849	4,464	6,119	7,640	9,263
	2,1	2,989	4,677	6,340	8,004	9,627
4	0,73	2,313	3,567	4,853	6,102	7,358
	1,7	2,578	4,104	5,557	6,748	8,291
	2,1	2,701	4,202	5,756	7,035	8,557
5	0,73	2,250	3,468	4,633	5,781	7,171



Počet vrstev bavlny	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Tepelné ztráty [W]				
		Tepelné ztráty [W]	Počet vrstev bavlny	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Tepelné ztráty [W]	Počet vrstev bavlny
5	1,7	2,503	3,880	5,198	6,527	7,887
	2,1	2,562	3,993	5,430	6,721	8,120

Při pohledu na vypočítané tepelné ztráty je patrné, že s přibývajícím počtem textilních vrstev se tepelné ztráty snižují. Na vypočítaných tepelných ztrátách je také vidět, že se zvětšující se rychlostí proudění okolního vzduchu nad zkoušenou textilií se i tepelné ztráty zvětšují. Tepelné ztráty se též zvyšují s klesající teplotou okolního vzduchu.

V grafu 13 jsou uvedeny tepelné ztráty materiálu při rychlosti proudění okolního vzduchu 0,73 m/s, daných teplotách okolního vzduchu, pro jednotlivé vrstvy bavlny za předpokladu, že textilie je v přímém kontaktu s měděnou destičkou. Grafy pro rychlost 1,7 a 2,1 m/s jsou uvedeny v příloze 16.



Graf 13 Tepelné ztráty materiálu při rychlosti proudění okolního vzduchu 0,73 m/s, daných teplotách okolního vzduchu, pro jednotlivé vrstvy bavlny za předpokladu, že textilie je v přímém kontaktu s měděnou destičkou

Stejným způsobem byly vypočítány hodnoty množství tepla a stupně izolace v případech, že mezi textilií a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera. Tyto hodnoty jsou uvedeny v příloze 16.

Vypočítané tepelné ztráty pro jednotlivé vrstvy bavlny s mezerou mezi textilií a zdrojem tepelného toku při daných okolních teplotách a rychlostech proudění okolního vzduchu jsou uvedeny v tabulce 22.

Tabulka 22 Vypočítané tepelné ztráty pro jednotlivé vrstvy bavlny s mezerou mezi textilií a zdrojem tepelného toku při daných okolních teplotách a rychlostech proudění okolního vzduchu

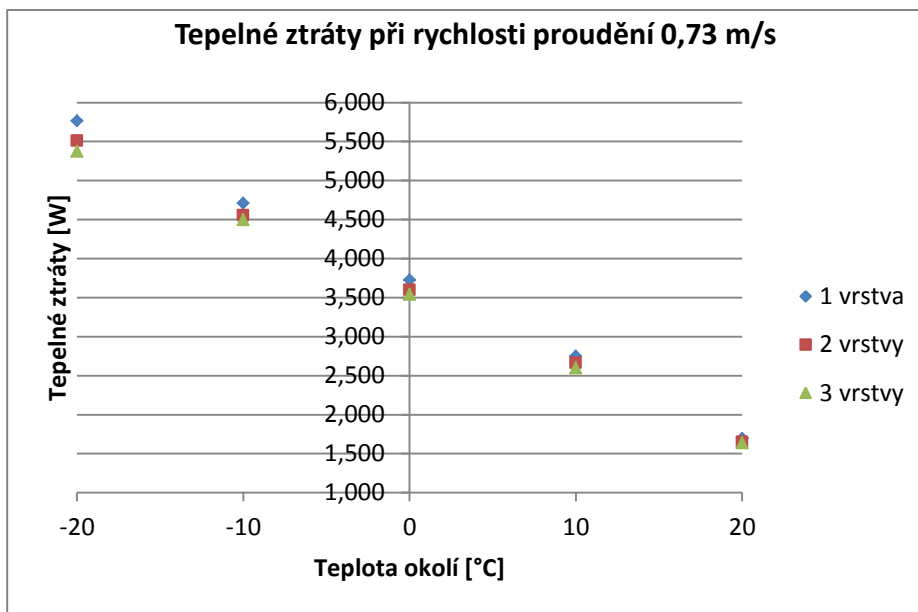
Počet vrstev bavlny	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Tepelné ztráty [W]				
		Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]
		20	10	0	-10	-20
1	0,73	1,698	2,751	3,726	4,712	5,765
	1,7	1,770	2,882	3,952	5,067	6,171



Počet vrstev bavlny	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Tepelné ztráty [W]				
		Tepelné ztráty [W]	Počet vrstev bavlny	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Tepelné ztráty [W]	Počet vrstev bavlny
1	2,1	1,826	2,905	4,100	5,282	6,548
2	0,73	1,652	2,664	3,599	4,556	5,513
	1,7	1,698	2,737	3,785	4,781	5,829
	2,1	1,715	2,754	3,830	4,855	5,944
3	0,73	1,641	2,601	3,544	4,501	5,377
	1,7	1,655	2,698	3,653	4,643	5,602
	2,1	1,718	2,713	3,727	4,713	5,688

Při pohledu na vypočítané tepelné ztráty je patrné, že s přibývajícím počtem textilních vrstev se tepelné ztráty opět snižují. Na vypočítaných tepelných ztrátách je také vidět, že se zvětšující se rychlostí proudění okolního vzduchu nad zkoušenou textilií se i tepelné ztráty opět zvětšují. Tepelné ztráty se též zvyšují s klesající teplotou okolního vzduchu. Z těchto vypočítaných hodnot pro textilií s mezerou mezi zdrojem tepelného toku je patrné, že v případě mezery už rozdíly při daných vrstvách a proudění okolního vzduchu nejsou tolik výrazné. To je způsobeno vzduchovou vrstvou mezi textilií a zdrojem tepelného toku, která zde působí jako tepelný izolant. Z toho vyplývá teorie, že vzduch nad povrchem měděné destičky se nejspíše téměř nepohybuje (vzduch tu působí jako dobrý tepelný izolant) a vzduch se nejspíše pohybuje nejvíce jen těsně pod povrchem textilie.

V grafu 14 jsou uvedeny tepelné ztráty materiálu při rychlosti proudění okolního vzduchu 0,73 m/s, daných teplotách okolního vzduchu, pro jednotlivé vrstvy bavlny za předpokladu, že mezi textilií a zdrojem tepelného toku je vzduchová mezera. Grafy pro rychlost 1,7 a 2,1 m/s jsou uvedeny v příloze 16.



Graf 14 Tepelné ztráty materiálu při rychlosti proudění okolního vzduchu 0,73 m/s, daných teplotách okolního vzduchu, pro jednotlivé vrstvy bavlny za předpokladu, že mezi textilií a zdrojem tepelného toku je vzduchová mezera

Zhodnocení metodiky

Tato metodika se jeví jako snadná a ze všech odzkoušených metodik jako nejvhodnější na určování tepelně izolačních vlastností materiálů v měřicím tunelu. V tomto případě, oproti předešlým metodikám jsou pro výpočet tepelných charakteristik brány reálné naměřené hodnoty. Z časového hlediska se tato metodika jeví jako náročná. Pomocí této metodiky byl ještě odzkoušen experiment, kdy byla při 1, 3 a 5 vrstvách bavlny na povrch připevněna polyethylenová folie v případě, že textilie byla v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku. Ukázalo se, že při použití polyethylenové folie se v některých případech i tepelné ztráty ještě nepatrně zvýší. To je nejspíše způsobeno tím, že díky polyethylenové folii na povrchu jsou jednotlivé vrstvy více stlačeny a z mezivrstev je vytlačen vzduch, který tam působí jako izolant. Naměřené a vypočítané hodnoty tohoto experimentu nebyly nakonec do této práce použity. Ukázalo se, že vypočítaný čas t_{1N}^* vychází v případě měděné destičky poměrně malý. Bylo by jistě zajímavé místo měděné destičky zkusit použít jiný materiál o jiné tepelné vodivosti a hustotě a zkusit vypočítat čas t_{1N}^* a tepelné ztráty.



2.3.7.2 Navržení matematického modelu pro výpočet tepelných ztrát pro jednotlivé vrstvy bavlny

Pro výpočet tepelných ztrát pro jednotlivé vrstvy bavlny při daných klimatických podmínkách byl navržen matematický model.

Matematický model pro přímý kontakt textilie se zdrojem tepelného toku

$$WS = A_0 + A_1 T^* + A_2 N + A_3 T^* v \quad (59)$$

Kde T^* [°C] se spočítá z rovnice:

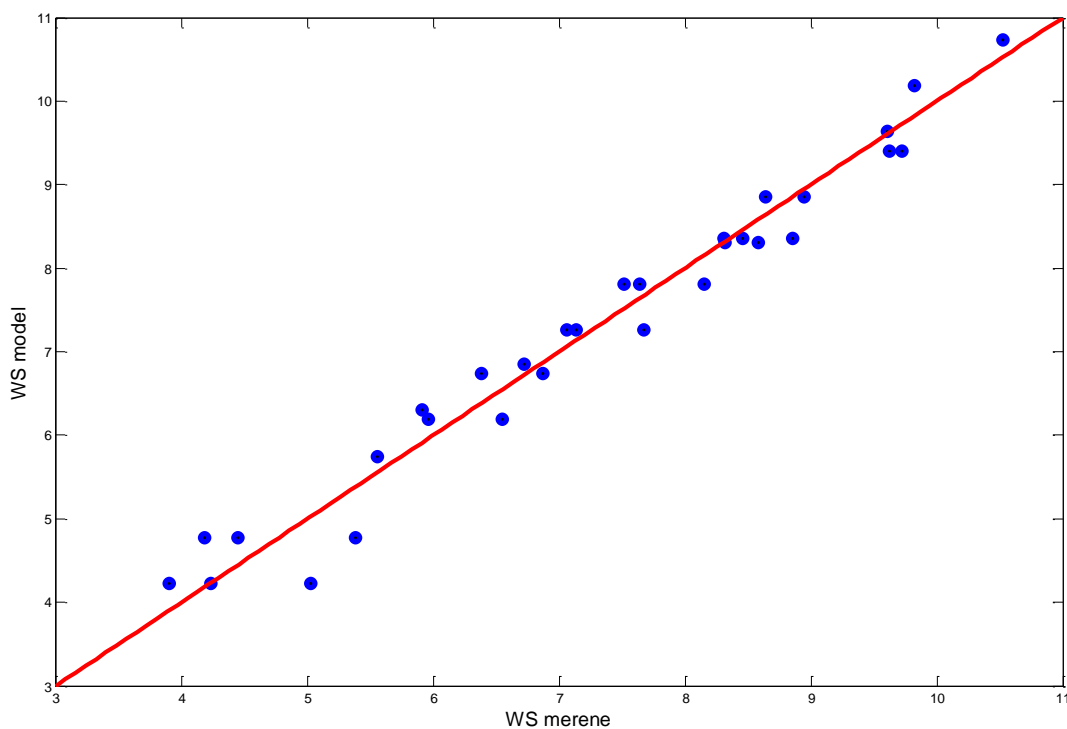
$$T^* = 36,5 - T_o \quad (60)$$

Teplota T_o je teplota okolí. Při navrhování modelu bylo použito modelu s interakcemi a byly vypuštěny nevýznamné interakce. Pro odhady parametrů byla použita metoda nejmenších čtverců a odhadnuté parametry jsou uvedeny v tabulce 23. V případě odhadu parametrů, když je T stat v absolutní hodnotě větší než 2, tak je parametr významně odchýlený od nuly [48].

Tabulka 23 Odhady parametrů pro matematický model, kdy je textilie v přímém kontaktu s měděnou destičkou

index	A	St. dev A	T stat
0	0	1.84	0.166
1	1	0.120	0.00463
2	2	-0.53	0.0336
3	3	0.0239	0.00211

Tepelné ztráty jsou uvedeny v grafu 15 a byl zjištěn koeficient determinace 97,288 % a průměrná relativní chyba 6,074 %.



Graf 15 Tepelné ztráty experimentálně naměřené a predikované v případě, že je textilie v přímém kontaktu s destičkou

Stejným způsobem je navržen i matematický model pro výpočet tepelných ztrát v případě, že mezi textilií a destičkou byla vzduchová mezera.

Matematický model, kdy mezi textilií a zdrojem tepelného je vzduchová mezera

$$WS = A_0 + A_1 T^* + A_2 N + A_3 T^* v \quad (61)$$

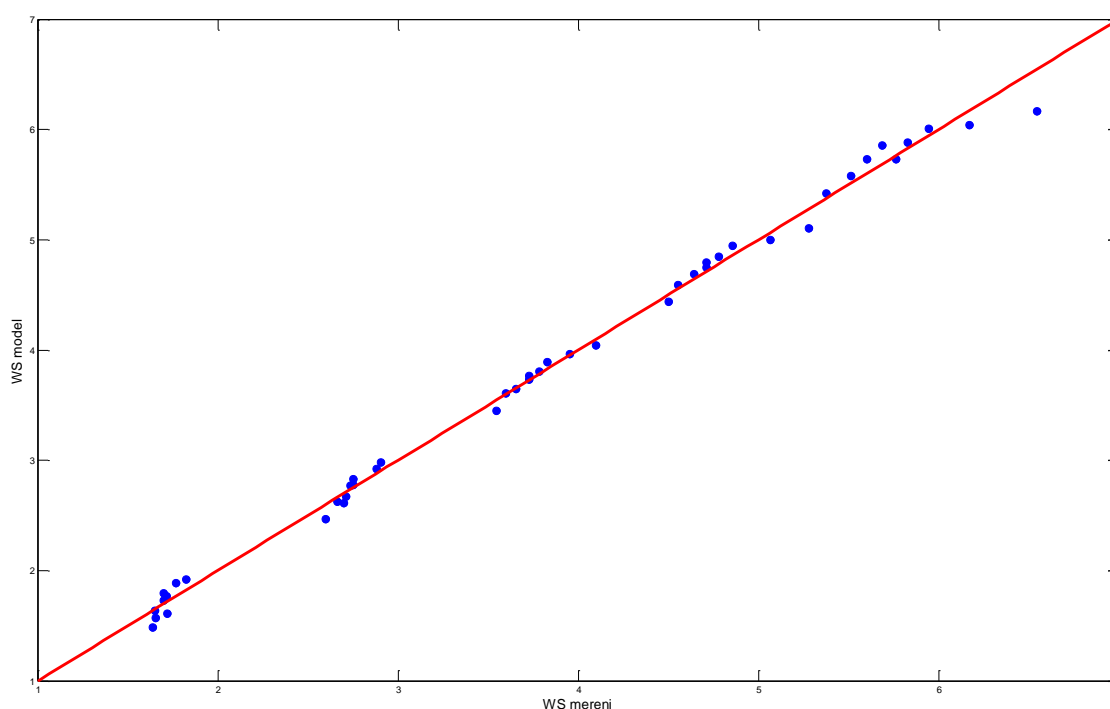
Kde T^* [°C] se opět spočítá z rovnice:

$$T^* = 36,5 - T_0 \quad (62)$$

Tabulka 24 Odhady parametrů pro matematický model, kdy je mezi textilií a měděnou destičkou vzduchová mezera

index	A	St. dev A	T stat
0	0.327	0.056	5.84
1	0.0944	0.00148	63.9
2	- 0. 156	0.0186	-8.41
3	0.0056	0.00067305	8.32

Tepelné ztráty jsou opět vyneseny v grafu 16 a byl opět zjištěn koeficient determinace 99,563 % a průměrná relativní chyba 2,298 %.



Graf 16 Tepelné ztráty experimentálně naměřené a predikované v případě, že mezi destičkou a textilií je vzduchová mezera

Pomocí těchto navržených modelů lze pro daný počet vrstev bavlny, danou rychlost proudění vzduchu a danou okolní teplotu predikovat tepelné ztráty.



Závěr

Cílem diplomové práce bylo zjišťování tepelně izolačních vlastností vybraných vzorků textilií při nízkých teplotách. Nejprve byl v rešeršní části proveden rozbor dané problematiky. Vybrané textilie byly nejprve odměřeny za běžných podmínek na měřicím zařízení Alambeta, kde byl naměřen tepelný tok, měrná tepelná vodivost, měrná tepelná kapacita, tepelná jímavost, plošný odpor vedení tepla, měrná teplotní vodivost a tloušťka materiálu. Na měřicím zařízení Alambeta byly odměřeny i další materiály, u kterých vycházela tepelná vodivost téměř totožná, a z tohoto důvodu nebyly vůbec do této práce použity. Za téměř totožné naměřené hodnoty nejspíše může přítlak, při kterém zařízení Alambeta měří. Působením tlaku na měřený materiál dojde k vytlačení vzduchu, který je mezi pory materiálu. Vzduch mezi pory funguje jako tepelný izolant a při jeho vytlačení dojde ke zvýšení tepelné vodivosti. Při měření materiálu, který je vyroben z dutých vláken může dojít díky přítlaku k deformaci vláken a zkoušený materiál bude mít opět vyšší tepelnou vodivost. Měření na měřicím zařízení Alambeta hodnotím jako rychlou a snadnou metodiku měření tepelně izolačních schopností. Bylo prokázáno, že způsob, jakým měří zařízení Alambeta se neshoduje s reálnými podmínkami nošení oblečení. Jelikož jak bylo zmíněno v rešeršní části, při nošení oděvů dochází k největším tepelným ztrátám prouděním a radiací a ztráty způsobené vedením jsou natolik malé, že se při hodnocení tepelných ztrát materiálů zanedbávají. Dále byly vybrané materiály odměřeny na přístroji TP-2, kde se měří tepelná propustnost při daném proudění vzduchu nad měřeným vzorkem. Tento způsob měření už se více přibližuje reálným podmínkám nošení oblečení z důvodu proudícího vzduchu nad měřeným vzorkem textilie.

Snahou bylo ještě více se přiblížit podmínkám nošení oblečení. Z tohoto důvodu bylo zkonstruováno nové měřicí zařízení pro měření tepelně izolačních vlastností materiálů – měřicí tunel z extrudovaného polystyrenu. Nové měřicí zařízení umožňuje měření tepelněizolačních vlastností materiálů, kde k tepelným ztrátám dochází vedením, prouděním i radiací s možností změny okolní teploty a rychlosti proudění okolního vzduchu. Toto je dosaženo zdrojem tepelného toku, který může být jak v přímém kontaktu s měřeným materiálem tak i mezi materiálem a zdrojem tepelného toku může být 15 až 1 mm vzduchová mezera. Jako zdroj tepelného toku byla zvolena měděná



destička, která je vyhřívána pomocí topných těles. V zadní části tunelu je umístěn ventilátor, který vhání vzduch nad měřený vzorek textilie. Díky možné změně rychlosti ventilátoru, lze měnit rychlost proudění nad měřeným materiálem. Celé měřicí zařízení je možné umístit do klimatické komory a tím tepelně izolační vlastnosti měřit i v extrémních podmínkách.

V práci bylo odzkoušeno několik metodik zjišťování tepelně izolačních vlastností materiálů v nově zkonstruovaném zařízení na vybraných vzorcích materiálů. Jako první byla odzkoušena metodika, kdy materiál byl v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku a k tepelným ztrátám docházelo především vedením a prouděním. V další navržené metodice byla mezi zdrojem tepelného toku a materiálem ponechána vzduchová mezera, tudíž v tomto případě k tepelným ztrátám docházelo prouděním a radiací. V obou případech byla k měření tepelných ztrát použita měřicí čidla teploty od firmy Sensirion, kdy byly tepelně izolační vlastnosti zkoumány při daných teplotách okolí a rychlosti proudění okolního vzduchu. Bylo prokázáno, že tato měřicí čidla nejsou schopny zaznamenat teplotu na rozhraní dvou prostředí, kde jedno prostředí má například teplotu $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a druhé prostředí má teplotu $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bylo odzkoušeno i jiné teplotní čidlo, ale bohužel ani v tomto případě toto čidlo, nedokázalo teplotu na rozhraní dvou prostředí s větší přesností naměřit. Bylo zjištěno, že obě čidla měří teplotu s danou přesností jen v určeném prostoru. Obě tyto čidla a mnoho dalších jsou běžně používána k měření například teploty na povrchu lidského těla, ale skutečná naměřená hodnota není s největší pravděpodobností teplota lidského těla, jelikož tato teplota je ovlivněna teplotou okolí. Do budoucna bych proto navrhoval zaměřit se na zkoumání teplotních čidel, co ve skutečnosti měří a kde mohou být použity. Obě navrhované metodiky jsou časově náročné a nepřesné a z těchto důvodů bych je nedoporučoval ke zjišťování tepelně izolačních vlastností materiálů. Další navržená metodika vycházela z předešlé metodiky. V tomto případě byly zkoumány tepelné vlastnosti materiálu jen pomocí čidla teploty, které bylo umístěno ve vzduchové mezeře mezi zkoumaným materiálem a zdrojem tepelného toku při jedné rychlosti proudění vzduchu a změně teploty z 20 na $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tento způsob je v porovnání s předešlými metodikami značně rychlejší a dokáže do jisté míry popsat tepelně izolační vlastnosti materiálu, ale problém je s tím, že ve vzduchové mezeře může například docházet k turbulencím a je velmi složité to popsat. Tuto metodiku bych doporučil například pro porovnání tepelně izolačních vlastností



více materiálů, kdy je snaha zjistit, který materiál izoluje více a méně, jelikož je problém ve stanovení limit, kdy materiál izoluje a kdy ne.

V poslední navrhované metodice se k hodnocení tepelně izolačních vlastností využívá času ohřevu a chladnutí tepelného zdroje o 1 °C, napětí a elektrický proud dodávaný pro ohřev zdroje tepelného toku. Touto metodikou byly odměřeny jednotlivé vrstvy bavlny jak v přímém kontaktu, tak se vzduchovou mezerou mezi textilií a zdrojem tepelného toku. U obou metodik měření se ukázalo, že s přibývajícím počtem textilních vrstev se tepelné ztráty snižují. Naopak se zvětšující se rychlostí proudění okolního vzduchu nad zkoušenou textilií se i tepelné ztráty zvětšují. Tepelné ztráty se též zvyšují s klesající teplotou okolního vzduchu. U metodiky, kde byla mezi textilií a zdrojem tepelného toku vzduchová mezera, se již rozdíly při počtu tepelných ztrát pro dané vrstvy textilie tak výrazně neprojeví. V tomto případě působí vzduchová mezera jako dobrý izolant nad povrchem měděné destičky. Tuto navrhovanou metodiku bych hodnotil jako snadnou a nejvhodnější z navrhovaných metodik pro měření tepelně izolačních vlastností materiálu v měřicím tunelu.

V současné podobě se přesnost měření v měřicím tunelu značně odvíjí od zkušeností obsluhy regulátoru teploty. Pro přesnější a snadnější měření bych doporučoval zakoupení digitálního regulátoru teploty s novým teplotním čidlem. Nový regulátor a teplotní čidlo by měly přesněji udržet teplotu měděné destičky na požadované teplotě i bez větší zásahy obsluhy. Dále bych doporučoval do budoucna zhotovit dva měřicí tunely, kde by pro oba tunely postačil jeden regulátor teploty. V jednom měřicím tunelu by byl materiál v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku a v druhém měřicím tunelu by byla mezi materiálem a zdrojem tepelného toku ponechána vzduchová mezera. Tímto by se snížilo opotřebování měřicích tunelů, které je nejvíce způsobeno změnou polohy měděné destičky, kde dochází k odlamování extrudovaného polystyrenu.

V této práci bylo ukázáno, že Evropská norma ISO 11079:2007 „Stanovení a interpretace stresu z chladu pomocí potřebné izolace oděvu (IREQ) a místních účinků chladu“, uvádí, že pro výpočet potřebné izolace oděvu je nutno uvažovat především přenos tepla prouděním a sáláním. V průběhu této práce bylo zjištěno několik komplikací, který souvisí s vyhodnocováním tepelně izolačních vlastností materiálů navrhovanými metodikami. Z tohoto důvodu bych doporučil zaměřit se na další možné



metodiky měření tepelně izolačních vlastností materiálů a způsobu využití měřicího tunelu. Jako další postup bych doporučoval zaměřit se na možný jiný způsob měření teploty těsně nad textilií. Dále bych doporučoval zaměřit se na poslední odzkoušenou metodiku a odměřit touto metodikou více materiálů s rozdílnými parametry jak v přímém kontaktu, tak se vzduchovou mezerou. Také by bylo dobré zaměřit se na měření se vzduchovou mezerou a pro stejný materiál ji postupně zmenšovat a zkoušet, jaký vliv to bude mít na tepelně izolační vlastnosti daného materiálu.



Literatura

- [1] KŘEMENÁKOVÁ, D., MISHRA, R., MILITKÝ, J., MAREŠ, J., ŠESTÁK, J.: *Vláknenné struktury pro speciální aplikace*. 1. vyd., O.P.S. Kanima, Liberec, 2013. ISBN 978-80-87 269-32-9.
- [2] VOLF, I., JAREŠOVÁ, M., OUHRABKA M.: *Přenos tepla* [Online]. [cit. 2015-7-28]. Dostupný z WWW: <<http://fyzikalniolympiada.cz/texty/texttz.pdf> >
- [3] Tepelná vodivost [Online]. [cit. 2015-8-1]. Dostupný z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Veden%C3%AD_tepla>
- [4] DURŠPEK, J.: *Přenos tepla*, Plzeň [Online]. [cit. 2015-8-1]. Dostupný z WWW: <<http://jandur.cz/thermodynamics/t1/t11.htm>>
- [5] SAZIMA, M., KOLEKTIV: *Technický průvodce – Sdílení tepla*, 1. vyd., Nakladatelství technické literatury, Praha, 1993. ISBN 80-85341-42-5
- [6] Přenos tepla [Online]. [cit. 2015-8-19]. Dostupný z WWW: <http://webfyzika.fsv.cvut.cz/PDF/prednasky/prenos_tepla.pdf>
- [7] Vedení tepla v tělesech, Brno [Online]. [cit. 2015-8-26]. Dostupný z WWW: <https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/334/Knihovna%20k%20projektu/Termomechanika/TERMOMECHANIKA_A_TERMOKINETIKA.....pdf?lang=cz>
- [8] HORNÍČEK, P.: *Odvod vlhkosti a tepla z povrchu lidského těla*, Liberec, 2002. [Online]. [cit. 2015-8-26]. Dostupný z WWW: <http://www.kod.tul.cz/predmety/STE/dalsi_podklady/Odvod%20vlhkosti%20a%20tepla.pdf>
- [9] KŘEMENÁKOVÁ, D., MILITKÝ, J., PÍCHOVÁ, J., ŠRAJER, J., SLAVÍČEK, R.: *Kompletní výzkum postupů vedoucích k dosažení bariérových*



parametrů tepelně adaptivních textilií pro oděvní a technické aplikace (ADAPTEP).
Studie CLUTEX – klastr technických textilií, Liberec, 2013.

[10] **KŘEMENÁKOVÁ, D., MILITKÝ, J., ZHU, G.:** *Prediction of Textile Structures. Thermal Insulation.* Internatinal Symposium on Fiber Science and Technology 2014 (ISF 2014) Tokyo Japan

[11] Strojírenská technologie [Online]. [Cit. 2014-14-05]. Dostupné z:
<<http://mail.sstzr.cz/web/download/cat1/strojirenska-technologie.pdf>>

[12] Interní norma č. 23-304-02/01: *Měření tepelných vlastností na přístroji Alambeta.*
[Online]. [Cit. 2014-15-05]. Dostupné z:
<http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/5Normy/IN%2023-304-02_01.pdf>

[13] **MAKOVSKÁ, M.:** *Vliv směsového podílu bavlny a polypropylenu na vybrané vlastnosti tkanin.* Liberec, 2013. [Diplomová práce].

[14] **KŘEMENÁKOVÁ, D., MILITKÝ, J.:** *Kompletní výzkum postupů vedoucích k dosažení bariérových parametrů tepelně adaptivních textilií pro oděvní a technické aplikace (ADAPTEP).* Studie CLUTEX – klastr technických textilií, Liberec, 2014.

[15] **MELOUN, M., MILITKÝ, J.:** *Kompendium statistického zpracování dat*, 2 vyd., Academia, Praha, 2006, ISBN 80-200-1396-2

[16] **KŘEMENÁKOVÁ, D., MILITKÝ, J., MISHRA, R.:** *Progress in Fibrous Material Science.* Published by O.P.S. Kanina, Liberec, 2014. ISBN 978-80-87 269-40-4.

[17] **PARSONS, K.:** *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance*, 3. vyd., CRC Nakladatelství Taylor & Francis Inc, New York, 2014, ISBN 978-1-4665-9599-6



[18] **CENTNEROVÁ, L.:** *Tepelná pohoda a nepohoda* [Online]. 2000 [cit. 2015-10-2]. Dostupný z WWW: <http://www.tzb-info.cz/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda#lit>

[19] **KUNA, L.:** *Tepelné izolácie a meranie tepelných strát*, 1. vyd., Slovenské vydavateľství technické literatury, Bratislava, 1963.

[20] Deskový přístroj podle Poensgena [Online]. [cit. 2015-9-15]. Dostupný z WWW: http://kckizw.ceramika.agh.edu.pl/Tresc/Dydaktyka/Zaawansowane_Metody_Badan_I_M_C/Download/Przewodnictwo_cieplne_KONSPEKT_2011.pdf

[21] **ZTV:** *Zdravotní technika a vzduchotechnika*. Ročník 14. Číslo 5 (říjen 1971). Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1971.

[22] Přístroj Togmeter [Online]. [cit. 2015-9-1]. Dostupný z WWW: <http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/cvi%C4%8Den%C3%AD/TOGMETER1.pdf>

[23] Fabric comfort [Online]. [cit. 2015-9-3]. Dostupný z WWW: <http://nptel.ac.in/courses/116102029/59>

[24] Návod k přístrojům FOX 200, FOX 300, FOX 304 a FOX 314

[25] Přístroj FOX 314 [Online]. [cit. 2015-9-3]. Dostupný z WWW: <http://lasercomp.com/product/fox314.php>

[26] Měření tepelně technických vlastností materiálu [Online]. [cit. 2015-9-7]. Dostupný z WWW: digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/.../pavelková_2007_bp.pdf?...1

[27] Přístroj na měření tepelné propustnosti TP-2 [Online]. [cit. 2015-9-22]. Dostupný z WWW: <http://www.qgm.cz/link/textilnizkusebnictvi.pdf>

[28] Návod na měření na přístroji TP-2



[29] **Yondea, M., Kawabata, S.:** *Analysis of Transient Heat Conduction and its Applications*, Part 1, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Vol. 29 No.4, 1983.

[30] Datalogger Voltcraft [Online]. [cit. 2015-9-20]. Dostupný z WWW: <https://www.nakupka.cz/vyrobek/datalogger-voltcraft-dl-121th/>

[31] **HANUŠ, J.:** *Metoda DTZ*

[32] **KUKLANE, K., GAO, CH., WANG, F., HOLMÉR, I.:** Parallel and Serial Methods of Calculating Thermal Insulation in European Manikin Standards. Department of Design Sciences, Lund University, Sweden, 2012.

[33] **HUANG, J.:** *Theoretical Analysis of Three Methods for Calculating Thermal Insulation of Clothing from Thermal Manikin*. College of Textiles, Wuhan Textile University, China, 2011.

[34] **JINTU, F.:** *Thermal Manikins and Modelling*. The Hong Kong Polytechnic University, 2006. ISBN: 962-367-534-8

[35] Návod k ventilátoru SilverStone FM121

[36] Příložený návod k anemometru Testo 405-V1

[37] Příložený návod k teploměru TFA 30.1033

[38] Topná folie [Online]. [cit. 2015-11-5]. Dostupný z WWW: [http://www.malapa.cz/produkty/topne-folie-a-pasy/TF00/#pictures\[gallery\]/5/](http://www.malapa.cz/produkty/topne-folie-a-pasy/TF00/#pictures[gallery]/5/)

[39] Regulátor TRS 210 [Online]. [cit. 2015-11-12]. Dostupný z WWW: <http://www.zpaul.cz/wp-content/uploads/2015/01/trs210.pdf>



- [40] Ploché topné těleso [Online]. [cit. 2015-11-24]. Dostupný z WWW: <http://www.malapa.cz/produkty/topne-folie-a-pasy/TF73/#pictures/gallery/0/>>
- [41] Digitální vlhkostní a teplotní čidlo SHT71 [Online]. [cit. 2015-11-27]. Dostupný z WWW: <http://www.sensirion.com/en/products/humidity-temperature/humidity-temperature-sensor-sht7x/>>
- [42] ALMEMO datalogger [Online]. [cit. 2015-12-5]. Dostupný z WWW: <http://www.ahlborn.cz/pristroje/dataloggery-almemo/almemo-2590-4as-datalogger-s-4-univerzalnimi-vstupy.html>>
- [43] Dotykové teplotní čidlo zahnuté [Online]. [cit. 2015-12-5]. Dostupný z WWW: <http://www.ahlborn.cz/cidla-a-snimace/cidla-a-snimace-pro-fyzikalni-veliciny/teplotni-cidla/teplotni-cidla-dotykova/dotykove-teplotni-cidlo-zahnute-fta104ph.html>>
- [44] **SLATTERY J. C.:** *Advanced Transport Phenomena*, Cambridge University Press, Cambridge, 2005.
- [45] **LUIKOV, A.V.:** *Analytical heat diffusion theory*, Academic Press, New York, 1968.
- [46] **MELOUN, M., MILITKÝ, J.:** *Interaktivní analýza dat*, Karolinum Praha, 2014.
- [47] Tepelná vodivost mědi [Online]. [cit. 2015-12-20]. Dostupný z WWW: <http://www.engineeringtoolbox.com/>>
- [48] **MELOUN, M., MILITKÝ, J.:** *Kompendium statistického zpracování dat*, 2 vyd., Academia, Praha, 2006, ISBN 80-200-1396-2

Seznam obrázků

Obrázek 1 Vedení tepla jednoduchou rovinnou stěnou [4]	16
Obrázek 2 Vedení tepla složenou rovinnou stěnou [4]	17
Obrázek 3 Sdílení tepla prouděním [2]	19
Obrázek 4 Přenos tepla prouděním z pokožky přes mikroklima a textilní vrstvu [8]	21
Obrázek 5 Transport tepla vláknem [15]	27
Obrázek 6 a) Rozložení teplot ve vláknech bez dutiny, b) rozdělení teplot ve vláknech s	28
Obrázek 7 Vliv vzduchové dutiny ve vlákně monofilu polyetylénu na jeho tepelnou vodivost [9]	29
Obrázek 8 a) Geometrie dutého vlákna, b) a c) limitní uspořádání fáze vzduchu a polymeru [15].	30
Obrázek 9 Měřicí zařízení Alambeta [9]	37
Obrázek 10 Metoda měření se dvěma deskami na přístroji Togmeter [23]	39
Obrázek 11 Metoda měření s jednou deskou na přístroji Togmeter [23]	40
Obrázek 12 Měřicí zařízení FOX 314 [18]	42
Obrázek 13 Schéma Poensgenova dvoudeskového a jednodeskového přístroje [20]	44
Obrázek 14 Schéma měřicího přístroje dr. Bocka [21]	46
Obrázek 15 Schéma měřicího zařízení TP-2 [27]	48
Obrázek 16 Schéma měření dle Kawabaty a Yondey [29]	49
Obrázek 17 Měřicí zařízení Datalogger Volcraft DL-121TH [30]	50
Obrázek 18 Materiál rotis	54
Obrázek 19 Struto	55
Obrázek 20 Měřicí tunel navržený profesorem Wienerem	69
Obrázek 21 Ventilátor SilverStone FM121 s regulátorem otáček pro měřicí tunel	70
Obrázek 22 Anemometr Testo 405-V1 a jeho umístění v měřicím tunelu	71
Obrázek 23 Topná destička doktoranda Zhu Guochenga	72
Obrázek 24 Teplotní čidlo Pt100 a laboratorní vpichový teploměr	73
Obrázek 25 Samotná topná folie TF00 a již přilepená na měděné	74
Obrázek 26 Popis čelního panelu regulátoru TRS 211 [39]	74
Obrázek 27 Elektrikářská krabička pro regulaci teploty topného tělesa a ventilátoru ...	76
Obrázek 28 Ploché topné těleso a jeho upevnění k měděné destičce [40]	77



Obrázek 29 Rozmístění čidel v měřicím tunelu, kdy je zkoumaná textilie v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku	79
Obrázek 30 Rozmístění čidel v měřicím tunelu, kdy mezi zkoumanou textilií a zdrojem tepelného toku je vzduchová mezera	80
Obrázek 31 Naměřené hodnoty teploty pro materiál DLC921, který byl v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku	83
Obrázek 32 Naměřené hodnoty teploty pro materiál bavlna, kde mezi materiálem a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera	88
Obrázek 33 Dataloger ALMEMO 2590-4AS a zahnuté dotykové teplotní čidlo FTA104PH [42,43]	95
Obrázek 34 Uložení čidla teploty v extrudovaném polystyrenu a umístění tohoto čidla i se zapůjčeným čidlem na měděné destičce	97
Obrázek 35 Způsob zjišťování stupně izolace materiálu a ztrát tepelného výkonu	103
Obrázek 36 Měření teploty v kovové desce při chlazení	104

Seznam tabulek

Tabulka 1 Velikosti součinitele α v určitých prostředích	20
Tabulka 2 Zvolené pleteniny pro experimentální část a jejich charakteristiky udané výrobcem	53
Tabulka 3 Parametry nití udávané výrobcem	53
Tabulka 4 Zvolené tepelné izolace pro experimentální část	54
Tabulka 5 Počesaná bavlna pro experimentální část	56
Tabulka 6 Materiál Milife pro experimentální část	56
Tabulka 7 Tabulkové hodnoty hustoty a tepelné vodivosti vláken	57
Tabulka 8 Statisticky zpracované hodnoty tloušťky materiálu naměřené na tloušťkoměru Schmidt v mm	57
Tabulka 9 Vypočítané průměrné hodnoty prodyšnosti naměřené na přístroji FX 3300	58
Tabulka 10 Vypočítané hodnoty hustoty vláken, hustoty tkaniny a objemové porozity	59
Tabulka 11 Vypočítané průměrné hodnoty naměřených dat na přístroji Alambeta a vypočítaná hodnota c_{lo} pro jednotlivé materiály	61



Tabulka 12 Vypočítané hodnoty predikované tepelné vodivosti, predikovaného plošného odporu vedení tepla a predikovaného tepelného komfortu pro dané materiály	62
Tabulka 13 Statisticky vypočítané hodnoty tepelné propustnosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] naměřené na přístroji TP-2	66
Tabulka 14 vlhkost v komoře pro dané teploty	81
Tabulka 15 Ustálené hodnoty teploty pro jednotlivá čidla materiálu DLC921 v přímém kontaktu textilie se zdrojem tepelného toku	85
Tabulka 16 Vypočítané tepelné ztráty pro jednotlivé materiály v přímém kontaktu textilií se zdrojem tepelného toku	86
Tabulka 17 Ustálené hodnoty teploty pro jednotlivá čidla materiálu bavlna, kdy mezi textilií a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera.....	89
Tabulka 18 Vypočítané tepelné ztráty pro jednotlivé materiály, kdy mezi textilií a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera	90
Tabulka 19 Naměřené teploty povrchu měděné destičky různými teplotními čidly	98
Tabulka 20 Vypočítané hodnoty teploty T^* a časy t^*_{IN} pro dané teploty okolí.....	107
Tabulka 21 Vypočítané tepelné ztráty pro jednotlivé vrstvy bavlny v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku při daných okolních teplotách a rychlostech proudění okolního vzduchu.....	108
Tabulka 22 Vypočítané tepelné ztráty pro jednotlivé vrstvy bavlny s mezerou mezi textilií a zdrojem tepelného toku při daných okolních teplotách a rychlostech proudění okolního vzduchu.....	110
Tabulka 23 Odhady parametrů pro matematický model, kdy je textilie v přímém kontaktu s měděnou destičkou	113
Tabulka 24 Odhady parametrů pro matematický model, kdy je mezi textilií a měděnou destičkou vzduchová mezera	115

Seznam grafů

Graf 1 Naměřené hodnoty teploty metodikou DTZ pro posouzení izolačních vlastností materiálů	51
Graf 2 Naměřené hodnoty prodyšnosti materiálu při přítlaku 50 Pa.....	60



Graf 3 Graf měrné tepelné vodivosti pro dané materiály z přístroje Alambeta.....	63
Graf 4 Graf tloušťky textilie pro dané materiály z přístroje Alambeta.....	64
Graf 5 Graf plošného odporu vedení tepla pro dané materiály z přístroje Alambeta.....	64
Graf 6 Tepelného komfortu vypočítaného z hodnot z Alambety a predikovaného tepelného komfortu pro dané materiály	65
Graf 7 Naměřené hodnoty tepelné propustnosti pro dané materiály na přístroji TP-2...	67
Graf 8 Vypočítané tepelné ztráty materiálů pro dané okolní teploty a rychlosti 0,73 m/s proudění okolního vzduchu, kdy materiál je v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku	92
Graf 9 Vypočítané tepelné ztráty materiálů pro dané okolní teploty a rychlosti 0,73 m/s proudění okolního vzduchu, kdy mezi materiálem a zdrojem tepelného toku je vzduchová mezera.....	93
Graf 10 Naměřené hodnoty teploty nezaizolovaným a zaizolovaným teplotním čidlem od firmy Sensirion umístěné na povrchu měděné destičky	98
Graf 11 Naměřených teplot ve vzduchové mezeře pro jednotlivé materiály při okolní teplotě od 20 do -20 °C.....	100
Graf 12 Vypočítané tepelné ztráty materiálu při dané teplotě okolí pro případ, že mezi materiálem a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera	101
Graf 13 Tepelné ztráty materiálu při rychlosti proudění okolního vzduchu 0,73 m/s, daných teplotách okolního vzduchu, pro jednotlivé vrstvy bavlny za předpokladu, že textilie je v přímém kontaktu s měděnou destičkou	110
Graf 14 Tepelné ztráty materiálu při rychlosti proudění okolního vzduchu 0,73 m/s, daných teplotách okolního vzduchu, pro jednotlivé vrstvy bavlny za předpokladu, že mezi textilií a zdrojem tepelného toku je vzduchová mezera.....	112
Graf 15 Tepelné ztráty experimentálně naměřené a predikované v případě, že je textilie v přímém kontaktu s destičkou	114
Graf 16 Tepelné ztráty experimentálně naměřené a predikované v případě, že mezi destičkou a textilií je vzduchová mezera	115



Seznam příloh

Příloha č. 1: Obrázky materiálů použitých v experimentální práci z Rastrovacího elektronového mikroskopu

Příloha č. 2: Naměřené a statisticky zpracované hodnoty plošné hmotnosti

Příloha č. 3: Tabulka naměřených hodnot tloušťky materiálu z tloušťkoměru

Příloha č. 4: Tabulky a gryfy naměřených hodnot a vypočítané statistické charakteristiky pro dané materiály na přístroji FX 3300

Příloha č. 5: Tabulky naměřených hodnot a vypočítané statistické charakteristiky pro dané materiály na přístroji Alambeta

Příloha č. 6: Tabulka naměřených hodnot tepelné propustnosti pro dané materiály na přístroji TP-2

Příloha č. 7: Obrázek schématu zapojení regulace teploty měděné destičky

Příloha č. 8: Obrázky elektrikářské krabičky pro regulaci teploty a regulaci rychlosti proudění vzduchu ve vytvořeném tunelu

Příloha č. 9: Obrázky použitých zdrojů pro napájení měděné destičky a ventilátoru

Příloha č. 10: Obrázky digitální vlhkostní a teplotní čidlo SHT71 a měřící multiplex od firmy Sensirion

Příloha č. 11: Obrázek rámečku pro snadné umístění měřené textilie do měřícího tunelu s textilií a bez textilie

Příloha č. 12: Grafy naměřených hodnot teploty materiálů a tabulky s ustálenými hodnotami teploty za předpokladu, že textilie byly v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku

Příloha č. 13: Grafy naměřených hodnot teploty materiálů a tabulky s ustálenými hodnotami teploty za předpokladu, že mezi textilií a zdrojem tepelného toku je vzduchová mezera

Příloha č. 14: Grafy vypočítaných tepelných ztrát materiálů pro dané okolní teploty a rychlosti proudění okolního vzduchu, kdy materiál byl v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku

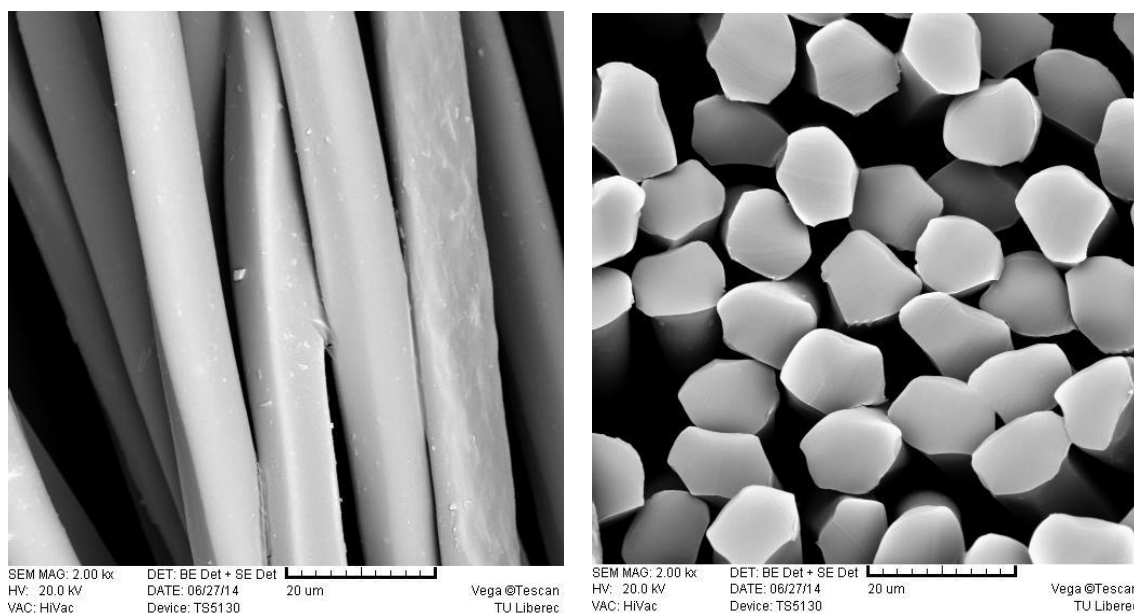
Příloha č. 15: Grafy vypočítaných tepelných ztrát materiálů pro dané okolní teploty a rychlosti proudění okolního vzduchu, kdy mezi materiálem a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera



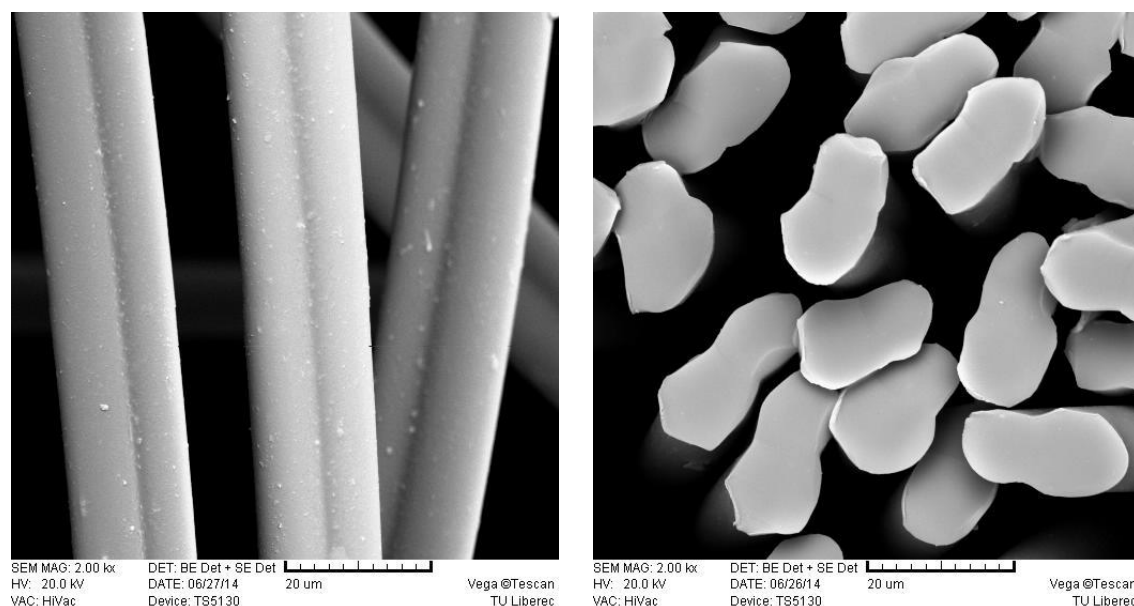
Příloha č. 16: Naměřené a vypočítané hodnoty pro metodiku měření tepelných ztrát bez použití teplotních čidel

Příloha

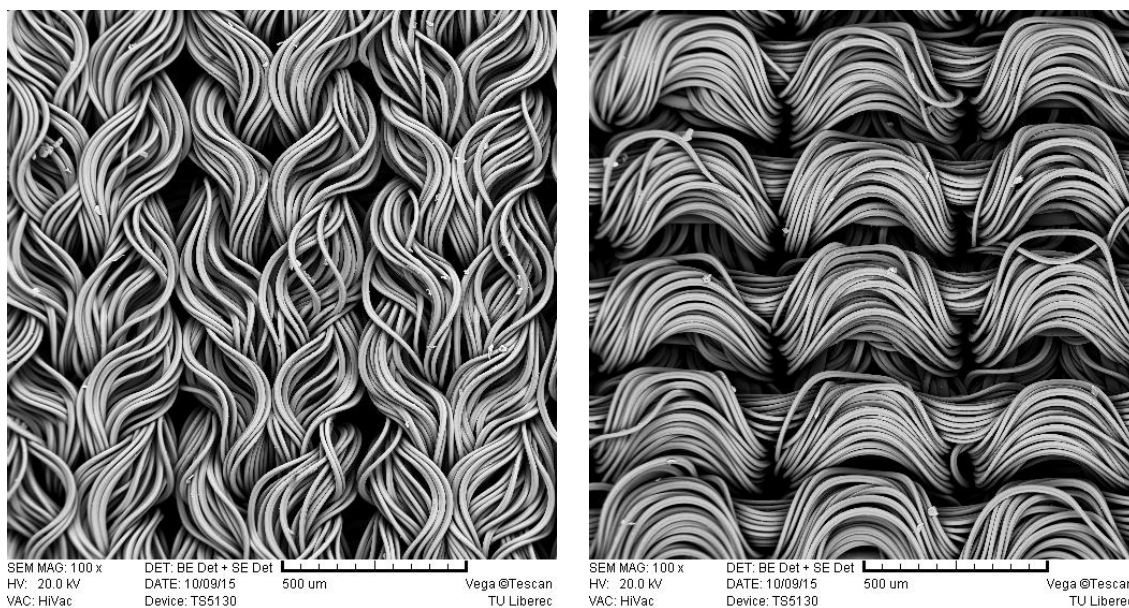
Příloha č. 1: Obrázky materiálů použitých v experimentální práci z Rastrovacího elektronového mikroskopu



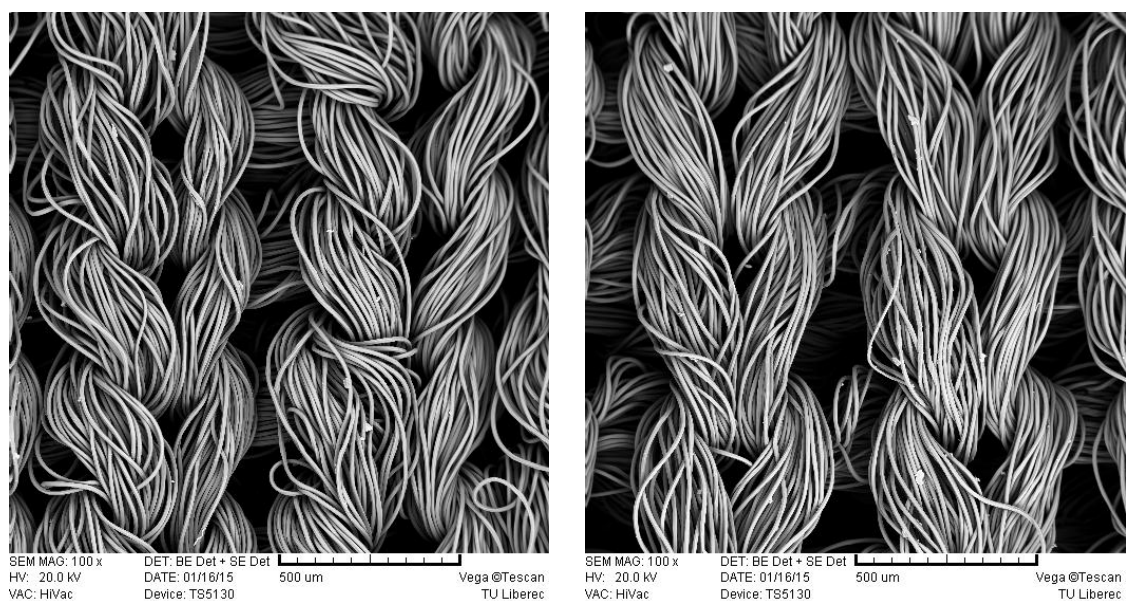
Obr. 1. Podélný a příčný řez standardního polyamidu 6.6 – zvětšení 2000 x



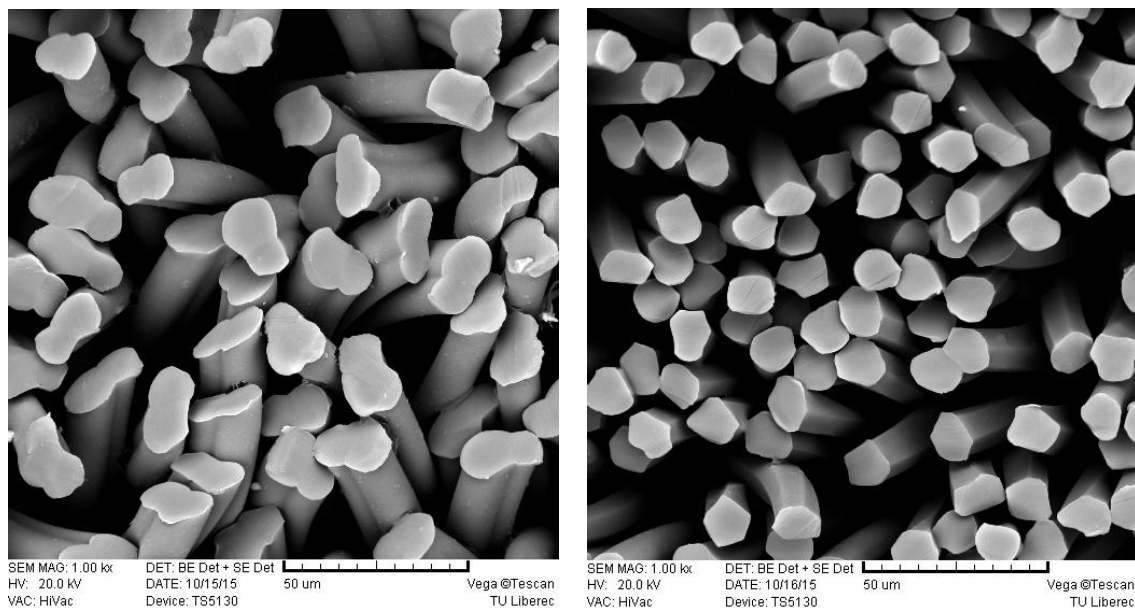
Obr. 2. Podélný a příčný řez lycra T400 – zvětšení 2000 x



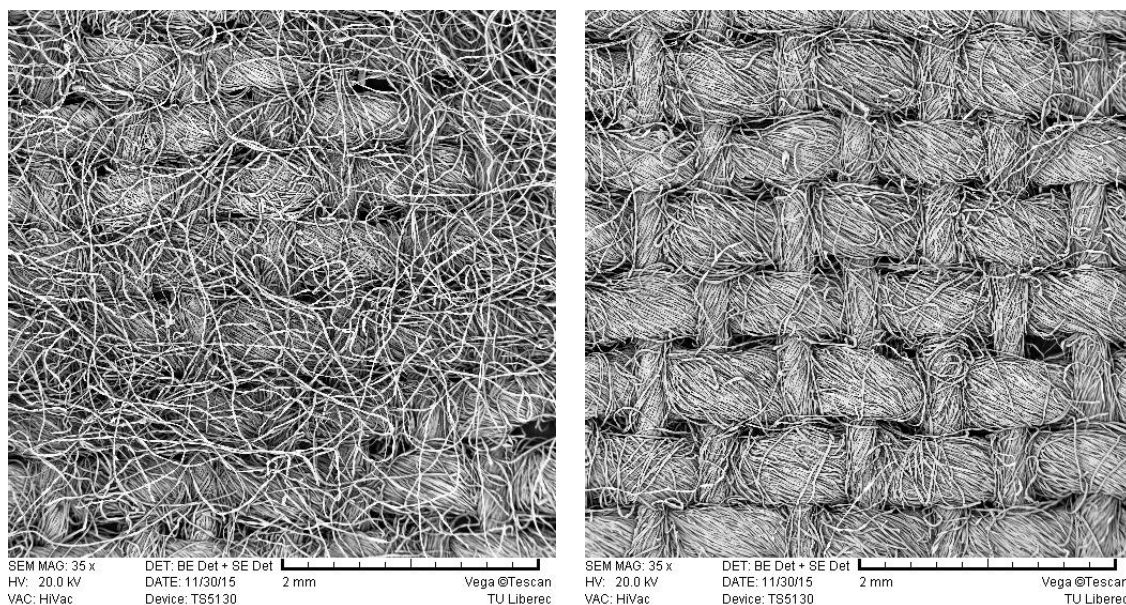
Obr. 3 Materiál JC1101 lící a rubní strana – zvětšení 100 x



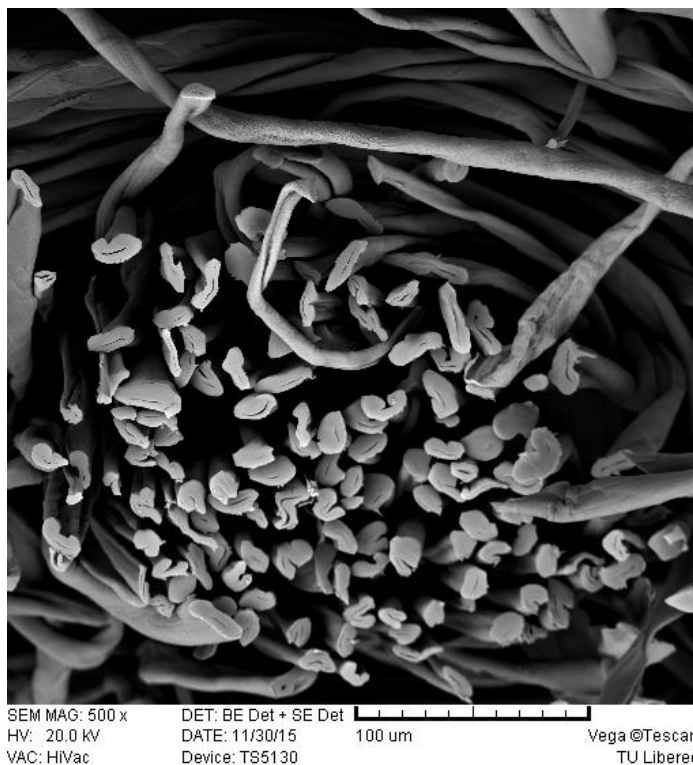
Obr. 4 Materiál DLC921 lící a rubní strana – zvětšení 100 x



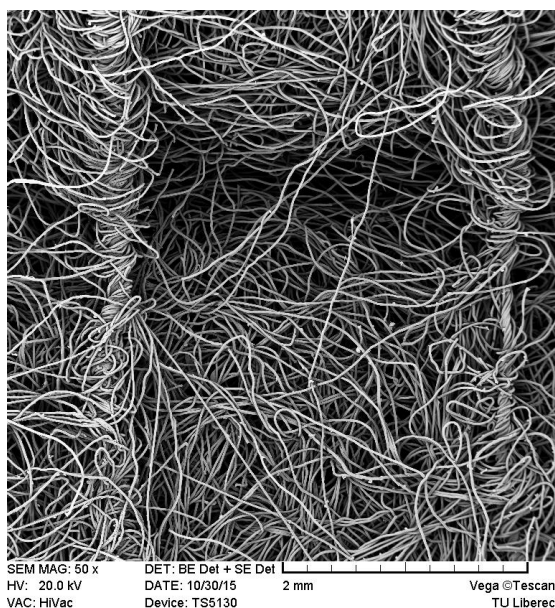
Obr. 5 Materiál JC1101 a materiál DLC921 příčný řez – zvětšení 1000 x



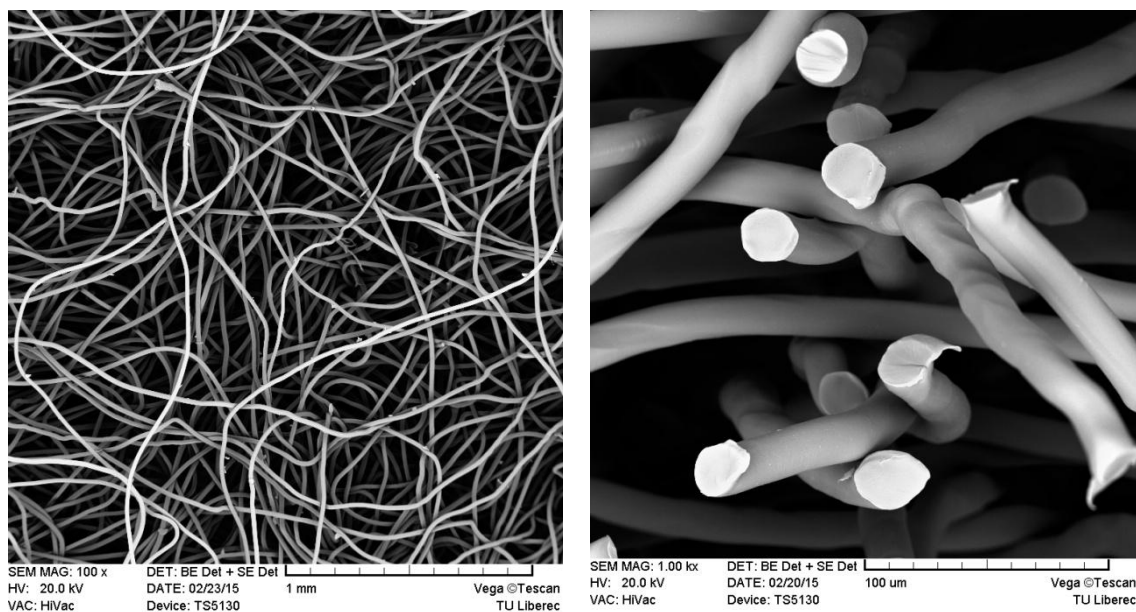
Obr. 6 Materiál počesaná bavlna lící a rubní strana – zvětšení 35 x



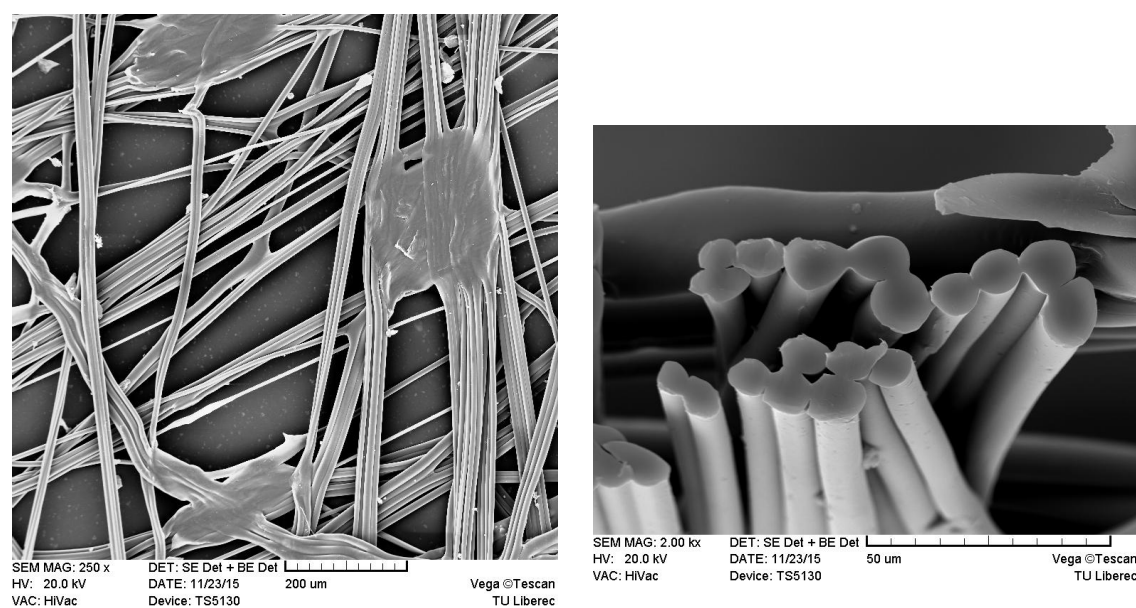
Obr. 7 Materiál počesaná bavlna příčný řez – zvětšení 500 x



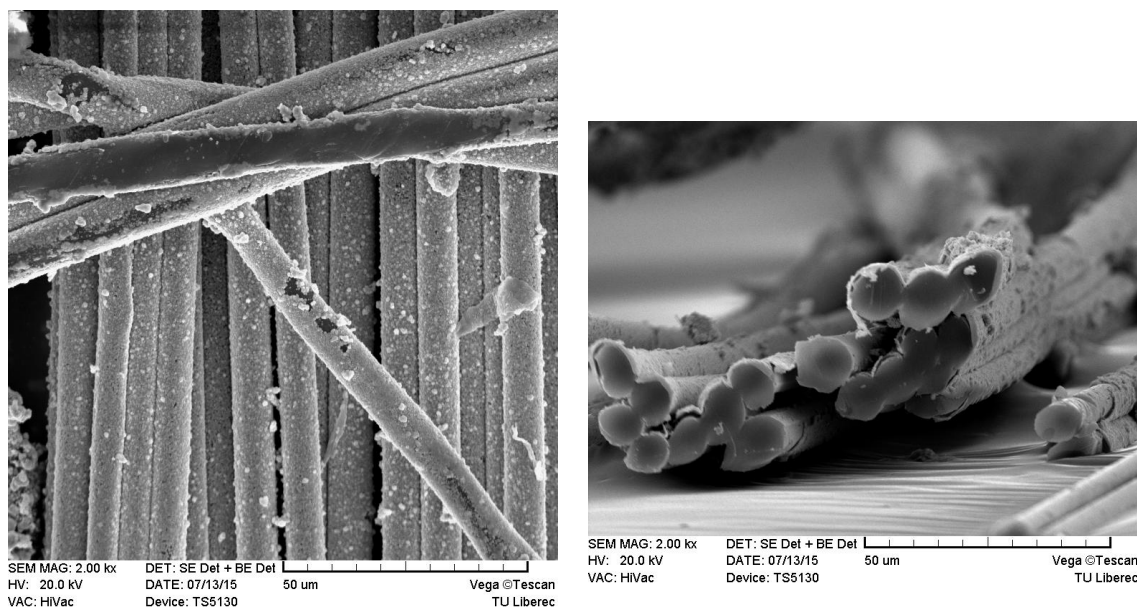
Obr. 8 Materiál Polartec podélný řez – zvětšení 50 x a příčný řez – zvětšení 250 x



Obr. 9 Materiál Fibertex podélný řez – zvětšení 100 x a příčný řez – zvětšení 1000 x



Obr. 10 Materiál Milife nepokovené podélný řez – zvětšení 250 x a příčný řez – zvětšení 2000 x



Obr. 11 Materiál Milife pokovené podélný a příčný řez – zvětšení 2000 x

Příloha č. 2: Naměřené a statisticky zpracované hodnoty plošné hmotnosti

Tabulka 1 Naměřené hodnoty plošné hmotnosti [g/m^2]

Materiál		JC1101	DLC921	Bavlna	Rotis	Struto	Milife nepokov.	Milife pokov.
Číslo měření	1	137,2	121,9	134,7	495,4	408,5	10,8	16,7
	2	138,7	126	133,5	489,8	415	10,2	16,1
	3	135,7	125,7	133,5	490,1	404,6	11,1	16,7
	4	136,4	121,1	134,2	497,3	410,3	10,5	16,3
	5	138,2	125,9	133,8	492,9	412,1	10,3	16,5



Tabulka 2 Statisticky zpracované hodnoty naměřené plošné hmotnosti [g/m²]

Materiál	ø	Spodní mez 95% IS střední hodnoty	Horní mez 95% IS střední hodnoty	Rozptyl	Směr. odchylka	Var. koeficient
JC 1101	137,3	134,834	139,766	1,533	1,238	0,902
DLC 921	123,9	118,42	129,38	5,812	2,411	1,946
Bavlna	133,94	133,303	134,577	0,263	0,513	0,383
Rotis	493,1	489,036	497,164	10,715	3,273	0,664
Struto	410,1	405,257	414,943	15,215	3,901	0,951
Milife nepokovené	10,58	10,120	11,040	0,137	0,370	3,498
Milife pokovené	16,46	16,136	16,784	0,068	0,261	1,584

Příloha č. 3: Tabulka naměřených hodnot tloušťky materiálu z tloušťkoměru

Tabulka 3 Naměřené hodnoty tloušťky materiálů z tloušťkoměru při přitlaku 0,1 kPa [mm]

Materiál		JC1101	DLC921	Bavlna	Rotis	Struto	Milife nepokov.	Milife pokov.
Číslo měření	1	0,45	0,71	0,49	6,56	19,9	0,04	0,09
	2	0,44	0,7	0,48	6,52	19,7	0,05	0,06
	3	0,45	0,69	0,5	6,6	20	0,1	0,05
	4	0,45	0,7	0,53	6,71	19,6	0,05	0,05
	5	0,44	0,71	0,5	6,5	20,5	0,08	0,08
	6	0,45	0,7	0,49	6,47	20,3	0,04	0,06
	7	0,45	0,7	0,49	6,54	19,6	0,04	0,07
	8	0,45	0,7	0,5	6,66	19,4	0,07	0,09
	9	0,44	0,7	0,5	6,51	20,5	0,06	0,08
	10	0,45	0,71	0,51	6,56	20,4	0,05	0,05

Příloha č. 4: Tabulky a gryfy naměřených hodnot a vypočítané statistické charakteristiky pro dané materiály na přístroji FX 3300

Tabulka 4 Naměřené hodnoty prodyšnosti [$1/m^2/s$] materiálů na přístroji FX 3300 při přtlaku 50 Pa

Materiál		JC1101	DLC921	Bavlna	Rotis	Struto
Číslo měření	1	373	1140	356	358	714
	2	341	1010	368	376	705
	3	339	1060	345	378	695
	4	313	1110	354	366	709
	5	318	1000	335	361	735

Tabulka 5 Naměřené hodnoty prodyšnosti [$1/m^2/s$] materiálů na přístroji FX 3300 při přtlaku 100 Pa

Materiál		JC1101	DLC921	Bavlna	Rotis	Struto
Číslo měření	1	641	1910	663	643	1570
	2	609	1810	653	685	1590
	3	589	1760	642	659	1580
	4	585	1750	657	673	1630
	5	583	1770	665	681	1570

Tabulka 6 Naměřené hodnoty prodyšnosti [$1/m^2/s$] materiálů na přístroji FX 3300 při přtlaku 200 Pa

Materiál		JC1101	DLC921	Bavlna	Rotis	Struto
Číslo měření	1	1220	3080	1090	1310	2410
	2	1180	3250	1030	1160	2660
	3	1130	3080	1050	1210	2560
	4	1110	2980	990	1230	2650
	5	1130	3000	1060	1150	2400



Tabulka 7 Statisticky zpracované naměřené hodnoty prodyšnosti [$l/m^2/s$] materiálů při
přítlaku 50 Pa na přístroji FX 3300

Materiál	ø	Spodní mez 95% IS střední hodnoty	Horní mez 95% IS střední hodnoty	Rozptyl	Směr. odchylka	Var. koeficient
<i>JC 1101</i>	329,500	297,990	361,010	563,2	23,732	7,202
<i>DLC 921</i>	1060,000	923,000	1197,000	3730	61,074	5,762
<i>Bavlna</i>	351,600	336,226	366,974	153,3	12,381	3,521
<i>Rotis</i>	367,800	356,750	378,850	79,2	8,899	2,420
<i>Struto</i>	711,600	693,192	730,008	219,8	14,826	2,083

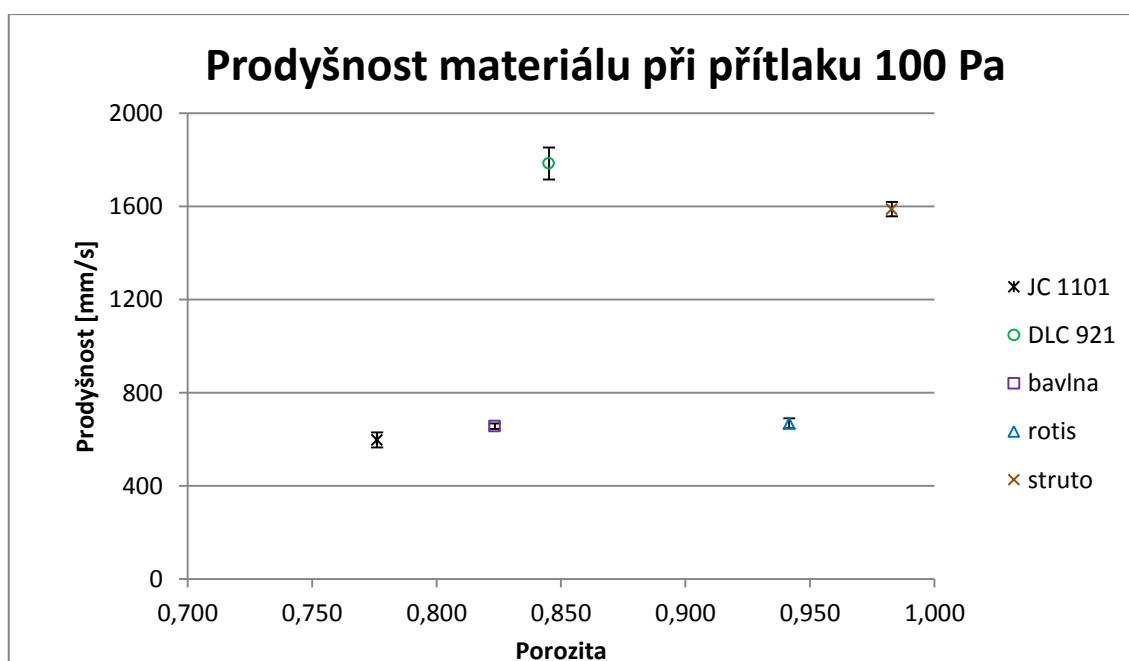
Tabulka 8 Statisticky zpracované naměřené hodnoty prodyšnosti [$l/m^2/s$] materiálů při
přítlaku 100 Pa na přístroji FX 3300

Materiál	ø	Spodní mez 95% IS střední hodnoty	Horní mez 95% IS střední hodnoty	Rozptyl	Směr. odchylka	Var. koeficient
<i>JC 1101</i>	597,000	564,120	629,880	596,8	24,429	4,092
<i>DLC 921</i>	1785,000	1716,500	1853,500	4300	65,574	3,674
<i>Bavlna</i>	656,000	644,620	667,380	84	9,165	1,397
<i>Rotis</i>	668,200	646,794	689,606	297,2	17,239	2,580
<i>Struto</i>	1588,000	1557,083	1618,917	620	24,900	1,568

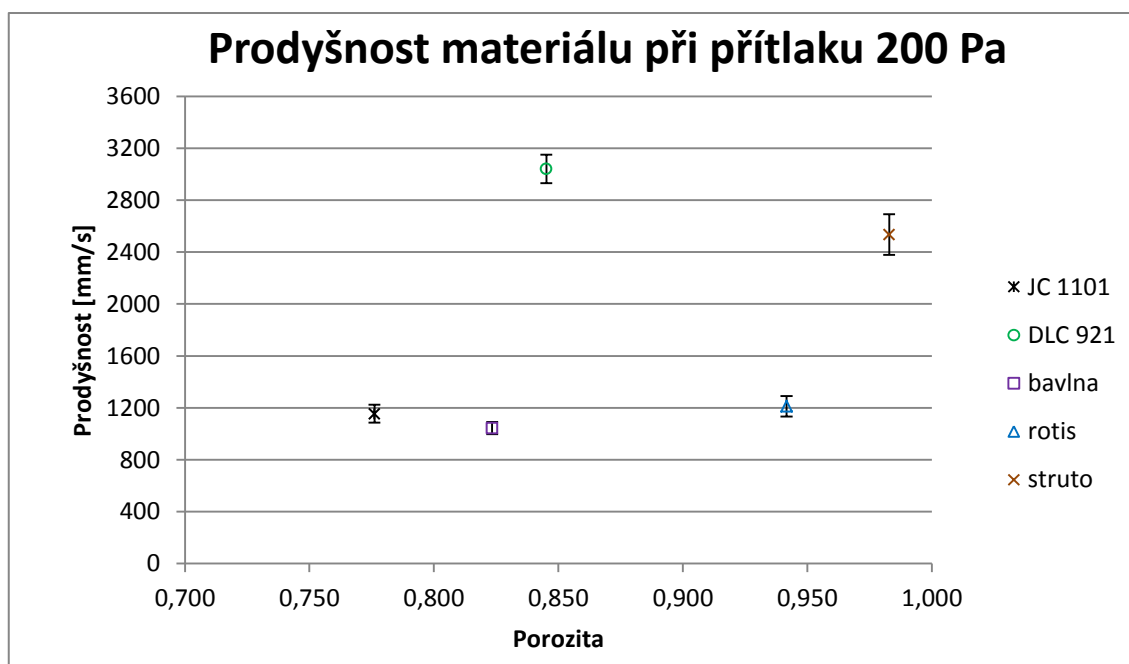


Tabulka 9 Statisticky zpracované naměřené hodnoty prodyšnosti [$l/m^2/s$] materiálů při přitlaku 200 Pa na přístroji FX 3300

Materiál	ϕ	Spodní mez 95% IS střední hodnoty	Horní mez 95% IS střední hodnoty	Rozptyl	Směr. odchylka	Var. koeficient
JC 1101	1155,000	1086,500	1223,500	2030	45,056	3,901
DLC 921	3040,000	2930,400	3149,600	11320	106,395	3,500
Bavlna	1044,000	997,874	1090,126	1380	37,148	3,558
Rotis	1212,000	1132,301	1291,699	4120	64,187	5,296
Struto	2536,000	2379,777	2692,223	15830	125,817	4,961



Graf 1 Naměřené hodnoty prodyšnosti materiálu při přitlaku 100 Pa



Graf 2 Naměřené hodnoty prodyšnosti materiálu při přítlaču 200 Pa

Příloha č. 5: Tabulky naměřených hodnot a vypočítané statistické charakteristiky pro dané materiály na přístroji Alambeta

Tabulka 10 Naměřené hodnoty materiálu JC1101 na přístroji Alambeta

Materiál	Číslo měření	λ [Wm ⁻¹ .K ⁻¹]	A [m ² /s]	b [Wm ⁻² .s ^{0,5} .K ⁻¹]	r [W ⁻¹ .Km ²]	h [mm]	P	q [W.m ²]
JC1101	1	0,047	1,01E-07	148	0,010	0,48	1,31	451
	2	0,045	1,01E-07	143	0,010	0,47	1,29	443
	3	0,046	9,8E-08	146	0,010	0,47	1,31	450
	4	0,046	9,9E-08	146	0,010	0,47	1,3	446
	5	0,047	1,17E-07	136	0,010	0,47	1,27	446
	6	0,047	1,1E-07	141	0,010	0,48	1,3	453
	7	0,048	1,01E-07	150	0,010	0,48	1,31	455
	8	0,047	1E-07	148	0,010	0,47	1,3	450
	9	0,047	1,1E-07	143	0,010	0,48	1,3	460
	10	0,047	9,8E-08	150	0,010	0,48	1,31	453



Tabulka 11 Naměřené hodnoty materiálu DLC921 na přístroji Alambeta

Materiál	Číslo měření	λ [$\text{Wm}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	A [m^2/s]	b [$\text{Wm}^{-2}\cdot\text{s}^{0,5}\cdot\text{K}^{-1}$]	r [$\text{W}^{-1}\cdot\text{Km}^2$]	h [mm]	P	q [$\text{W}\cdot\text{m}^2$]
DLC921	1	0,042	1,28E-07	117	0,018	0,74	1,67	385
	2	0,042	1,39E-07	112	0,017	0,73	1,61	377
	3	0,042	1,36E-07	113	0,017	0,71	1,61	385
	4	0,042	1,38E-07	114	0,018	0,74	1,64	382
	5	0,042	1,36E-07	113	0,017	0,73	1,62	372
	6	0,043	1,35E-07	113	0,017	0,74	1,61	382
	7	0,043	1,41E-07	114	0,018	0,75	1,6	371
	8	0,042	1,49E-07	109	0,018	0,74	1,58	364
	9	0,043	1,47E-07	110	0,017	0,74	1,6	374
	10	0,043	1,32E-07	118	0,017	0,74	1,6	375

Tabulka 12 Naměřené hodnoty materiálu bavlna na přístroji Alambeta

Materiál	Číslo měření	λ [$\text{Wm}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	A [m^2/s]	b [$\text{Wm}^{-2}\cdot\text{s}^{0,5}\cdot\text{K}^{-1}$]	r [$\text{W}^{-1}\cdot\text{Km}^2$]	h [mm]	P	q [$\text{W}\cdot\text{m}^2$]
bavlna	1	0,041	1,08E-07	124	0,014	0,57	1,5	414
	2	0,040	9,6E-08	128	0,015	0,59	1,55	403
	3	0,040	1,17E-07	118	0,015	0,59	1,44	385
	4	0,041	9,7E-08	132	0,014	0,59	1,53	411
	5	0,042	1,05E-07	129	0,015	0,59	1,57	416
	6	0,042	1,12E-07	124	0,014	0,6	1,45	389
	7	0,041	1,02E-07	127	0,015	0,6	1,48	393
	8	0,041	9,3E-08	135	0,013	0,55	1,46	419
	9	0,040	9,7E-08	132	0,015	0,6	1,62	421
	10	0,043	1,06E-07	133	0,013	0,57	1,43	417

Tabulka 13 Naměřené hodnoty materiálu rotis na přístroji Alambeta

Materiál	Číslo měření	λ [$\text{Wm}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	A [m^2/s]	b [$\text{Wm}^{-2}\cdot\text{s}^{0,5}\cdot\text{K}^{-1}$]	r [$\text{W}^{-1}\cdot\text{Km}^2$]	h [mm]	P	q [$\text{W}\cdot\text{m}^2$]
rotis	1	0,045	6,02E-07	58,4	0,174	7,87	4,38	132
	2	0,046	6,56E-07	56,5	0,174	7,95	4,5	136
	3	0,045	5,8E-07	59	0,179	8,03	5,12	149
	4	0,045	7,35E-07	52,6	0,179	8,06	4,04	121
	5	0,045	5,61E-07	60,1	0,171	7,72	4,46	132



	6	0,045	8,7E-07	48,1	0,174	7,8	4,3	128
	7	0,045	5,84E-07	59,1	0,179	8,08	5,03	146
	8	0,045	5,49E-07	61,3	0,157	7,15	4,6	156
	9	0,043	4,6E-07	63,2	0,159	6,82	4,84	158
	10	0,044	4,91E-07	62,1	0,164	7,13	4,72	145

Tabulka 14 Naměřené hodnoty materiálu struto na přístroji Alambeta

Materiál	Číslo měření	λ [Wm ⁻¹ .K ⁻¹]	A [m ² /s]	b [Wm ⁻² .s ^{0,5} .K ⁻¹]	r [W ⁻¹ .Km ²]	h [mm]	P	q [W.m ²]
struto	1	0,056	0	28,6	0,306	17,1	5,22	88
	2	0,054	0	30,5	0,331	18	5,93	105
	3	0,055	0	27,7	0,319	17,5	5,37	92
	4	0,053	0	33,7	0,337	17,9	6,53	107
	5	0,057	0	29,7	0,302	17,2	5,24	100
	6	0,054	0	31,3	0,33	17,8	6,19	105
	7	0,058	0	31,5	0,298	17,4	5,07	94
	8	0,053	0	32,8	0,337	17,8	6,48	105
	9	0,054	0	34,3	0,331	17,8	6,78	115
	10	0,057	0	32,6	0,302	17,2	6,19	110

Tabulka 15 Vypočítané statistické charakteristiky tepelné vodivosti λ [Wm⁻¹.K⁻¹] pro dané materiály z měření na přístroji Alambeta

Materiál	σ	Spodní mez 95% IS střední hodnoty	Horní mez 95% IS střední hodnoty	Rozptyl	Směr. odchylka	Var. koeficient
JC 1101	0,047	0,046	0,047	0,000	0,001	1,535
DLC 921	0,042	0,042	0,043	0,000	0,000	0,942
Bavlna	0,041	0,040	0,042	0,000	0,001	2,600
Rotis	0,045	0,044	0,045	0,000	0,001	1,999
Struto	0,055	0,054	0,056	0,000	0,002	3,383



Tabulka 16 Vypočítané statistické charakteristiky měrné teplotní vodivosti a $[m^2/s]$ pro dané materiály z měření na přístroji Alambeta

Materiál	ϕ	Spodní mez 95% IS střední hodnoty	Horní mez 95% IS střední hodnoty	Rozptyl	Směr. odchylka	Var. koeficient
JC 1101	1,04E-07	9,89E-08	1,08E-07	4,21E-17	6,49E-09	6,266
DLC 921	1,38E-07	1,34E-07	1,43E-07	4,05E-17	6,37E-09	4,611
Bavlna	1,03E-07	9,78E-08	1,09E-07	5,96E-17	7,72E-09	7,471
Rotis	6,09E-07	5,23E-07	6,95E-07	1,44E-14	1,20E-07	19,722
Struto	1,04E-07	9,89E-08	1,08E-07	4,21E-17	6,49E-09	6,266

Tabulka 17 Vypočítané statistické charakteristiky tepelné jímavosti $b [Wm^{-2}s^{0,5}K^{-1}]$ pro dané materiály z měření na přístroji Alambeta

Materiál	ϕ	Spodní mez 95% IS střední hodnoty	Horní mez 95% IS střední hodnoty	Rozptyl	Směr. odchylka	Var. koeficient
JC 1101	145,100	141,946	148,254	19,433	4,408	3,038
DLC 921	113,300	111,332	115,268	7,567	2,751	2,428
Bavlna	128,200	124,509	131,891	26,622	5,160	4,025
Rotis	58,040	54,745	61,335	21,214	4,606	7,936
Struto	31,270	29,721	32,819	4,687	2,165	6,923

Tabulka 18 Vypočítané statistické charakteristiky plošného odporu vedení tepla $r [W^{-1}Km^2]$ pro dané materiály z měření na přístroji Alambeta

Materiál	ϕ	Spodní mez 95% IS střední hodnoty	Horní mez 95% IS střední hodnoty	Rozptyl	Směr. odchylka	Var. koeficient
JC 1101	0,010	0,010	0,010	9,44E-09	9,72E-05	0,010
DLC 921	0,017	0,017	0,018	3,51E-08	1,87E-04	0,017
Bavlna	0,014	0,014	0,015	4,09E-07	6,39E-04	0,014
Rotis	0,171	0,165	0,177	6,76E-05	0,008	0,171
Struto	0,319	0,308	0,331	2,49E-04	0,016	0,319



Tabulka 19 Vypočítané statistické charakteristiky tloušťky materiálu h [mm] pro dané materiály z měření na přístroji Alambeta

Materiál	σ	Spodní mez 95% IS střední hodnoty	Horní mez 95% IS střední hodnoty	Rozptyl	Směr. odchylka	Var. koeficient
JC 1101	0,475	0,471	0,479	0,000	0,005	1,110
DLC 921	0,736	0,728	0,744	0,000	0,011	1,461
Bavlna	0,585	0,573	0,597	0,000	0,016	2,820
Rotis	7,661	7,335	7,987	0,208	0,456	5,952
Struto	17,570	17,334	17,806	0,109	0,330	1,879

Tabulka 20 Vypočítané statistické charakteristiky poměru maximálního a ustáleného tepelného toku p [-] pro dané materiály z měření na přístroji Alambeta

Materiál	σ	Spodní mez 95% IS střední hodnoty	Horní mez 95% IS střední hodnoty	Rozptyl	Směr. odchylka	Var. koeficient
JC 1101	1,300	1,291	1,309	1,55E-04	0,012	0,959
DLC 921	1,614	1,596	1,632	0,001	0,025	1,551
Bavlna	1,503	1,458	1,548	0,004	0,063	4,185
Rotis	4,599	4,359	4,839	0,112	0,335	7,280
Struto	5,900	5,451	6,349	0,394	0,628	10,637

Tabulka 21 Vypočítané statistické charakteristiky tepelného toku q [Wm²] pro dané materiály z měření na přístroji Alambeta

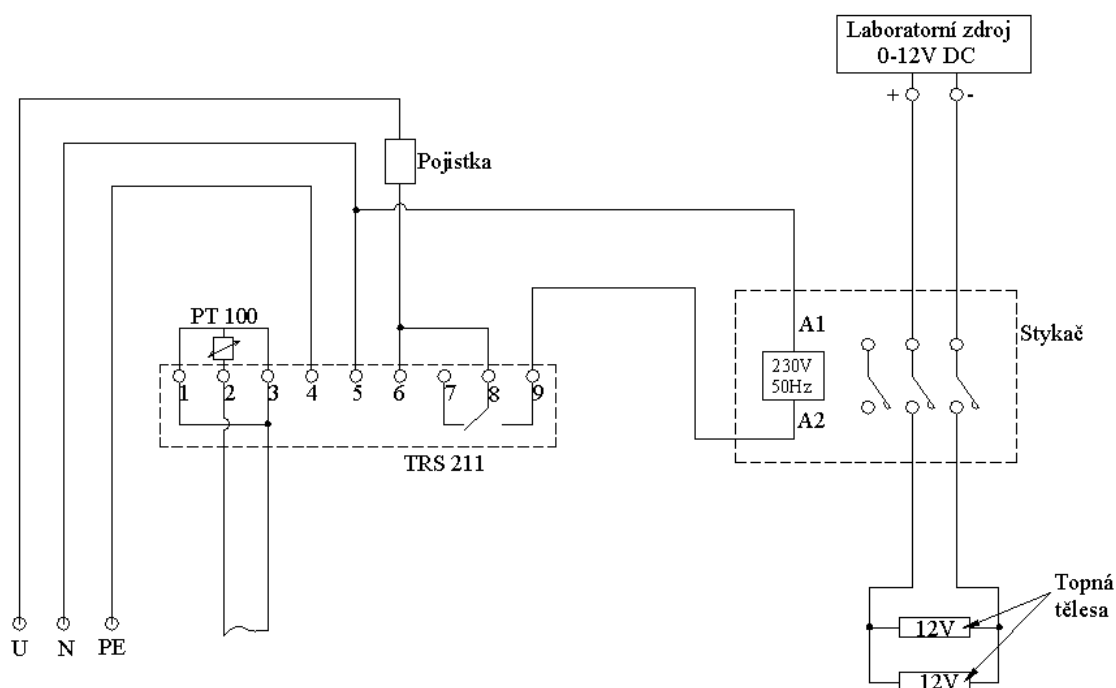
Materiál	σ	Spodní mez 95% IS střední hodnoty	Horní mez 95% IS střední hodnoty	Rozptyl	Směr. odchylka	Var. koeficient
JC 1101	450,700	447,162	454,238	24,456	4,945	1,097
DLC 921	376,700	371,813	381,587	46,678	6,832	1,814
Bavlna	406,800	397,245	416,355	178,400	13,357	3,283
Rotis	140,300	131,474	149,126	152,233	12,338	8,794
Struto	102,100	96,026	108,174	72,100	8,491	8,317

Příloha č. 6: Tabulka naměřených hodnot tepelné propustnosti pro dané materiály na přístroji TP-2

Tabulka 22 Naměřené hodnoty tepelné propustnosti pro dané materiály na přístroji TP-2

Materiál	Číslo měření				
	1 [W.m ⁻² .K ⁻¹]	2 [W.m ⁻² .K ⁻¹]	3 [W.m ⁻² .K ⁻¹]	4 [W.m ⁻² .K ⁻¹]	5 [W.m ⁻² .K ⁻¹]
<i>JC 1101</i>	25,7	25,7	26,1	26,3	25,9
<i>DLC 921</i>	24,3	24,9	23,9	24,6	25,2
<i>Bavlna</i>	22,9	23,8	23,1	23,7	23,4
<i>Rotis</i>	12,3	12,7	12,2	12,5	12,9
<i>Struto</i>	9,5	9,4	9,6	9,4	9,3
<i>Milife nepokovené</i>	27,9	27,8	28	27,9	27,6

Příloha č. 7: Obrázek schématu zapojení regulace teploty měděné destičky



Obr. 12 Schéma zapojení regulace teploty měděné destičky

Příloha č. 8: Obrázky elektrickářské krabičky pro regulaci teploty a regulaci rychlosti proudění vzduchu ve vytvořeném tunelu



Obr. 13 Elektrickářská krabička pro regulaci teploty a regulaci rychlosti proudění vzduchu ve vytvořeném tunelu – pohled zepředu



Obr. 14 Elektrickářská krabička pro regulaci teploty a regulaci rychlosti proudění vzduchu ve vytvořeném tunelu – pohled z hora

Příloha č. 9: Obrázky použitých zdrojů pro napájení měděné destičky a ventilátoru

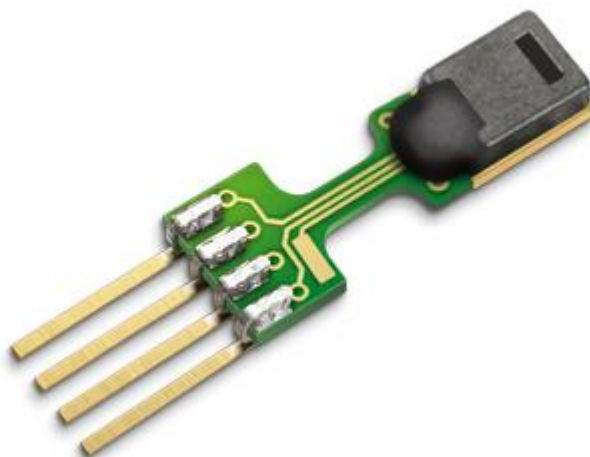


Obr. 15 Laboratorní zdroj STATRON TYP 2229.2



Obr. 16 Laboratorní zdroj DIAMETRAL R124R50E

Příloha č. 10: Obrázky digitální vlhkostní a teplotní čidlo SHT71 a měřící multiplex od firmy Sensirion



Obr. 17 Digitální vlhkostní a teplotní čidlo SHT71 od firmy Sensirion [32]



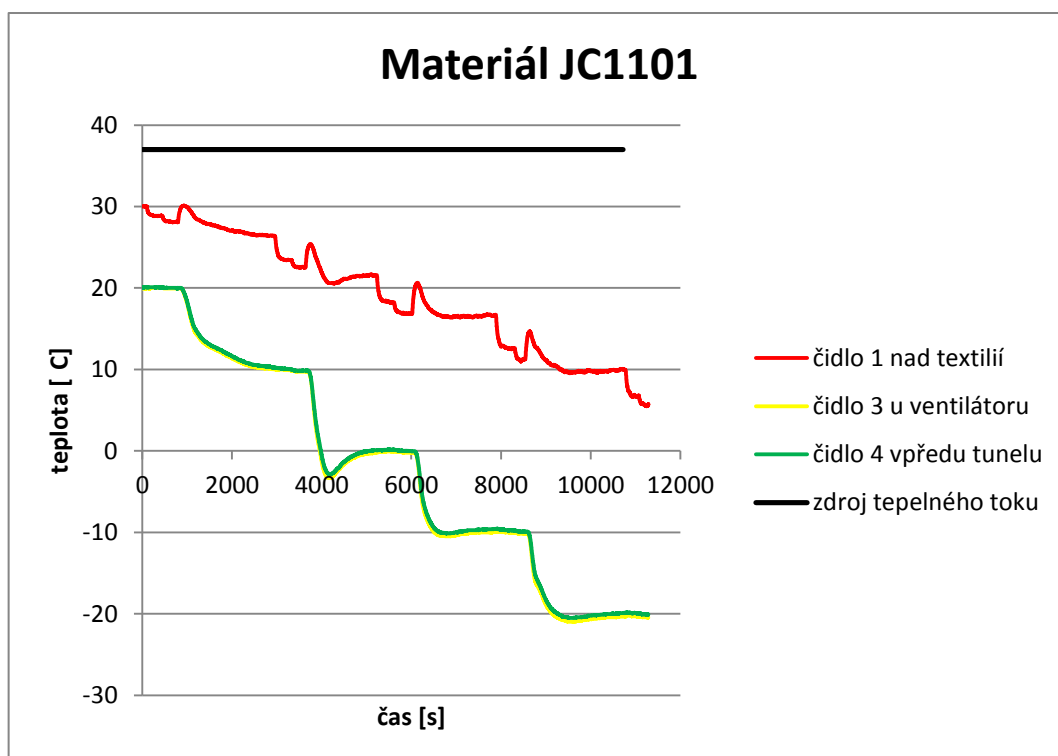
Obr. 18 Měřicí multiplex od firmy Sensirion

Příloha č. 11: Obrázek rámečku pro snadné umístění měřené textilie do měřícího tunelu s textilií a bez textilie

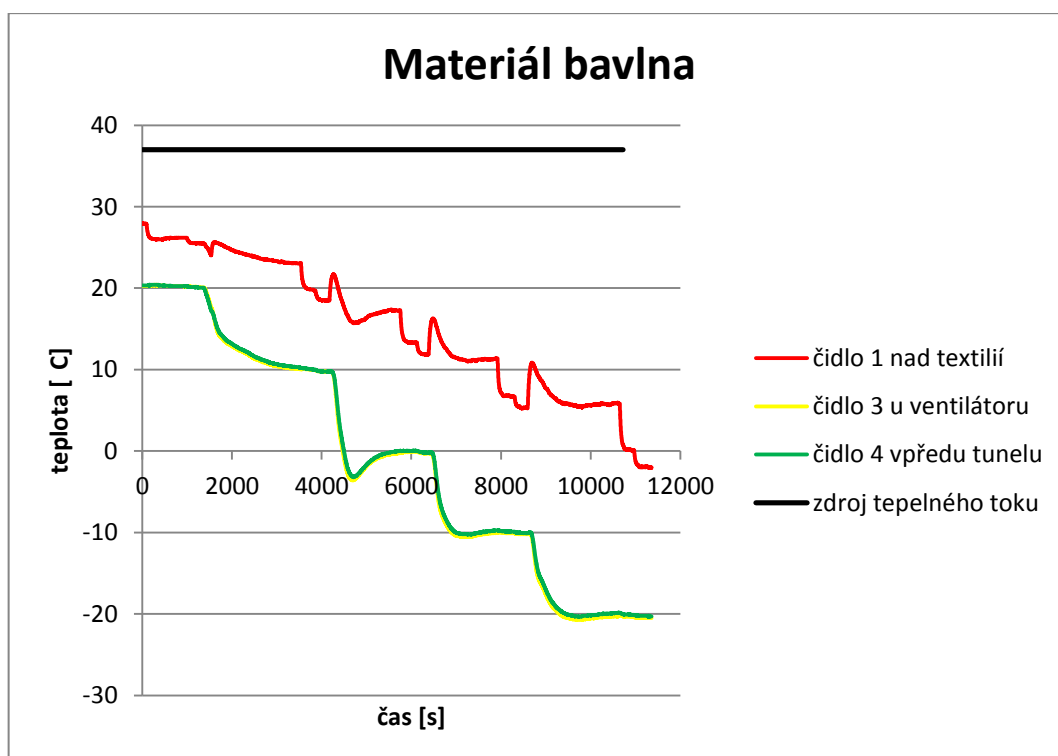


Obr. 19 Rámeček pro snadné umístění měřené textilie do měřicího tunelu s textilií a bez textilie

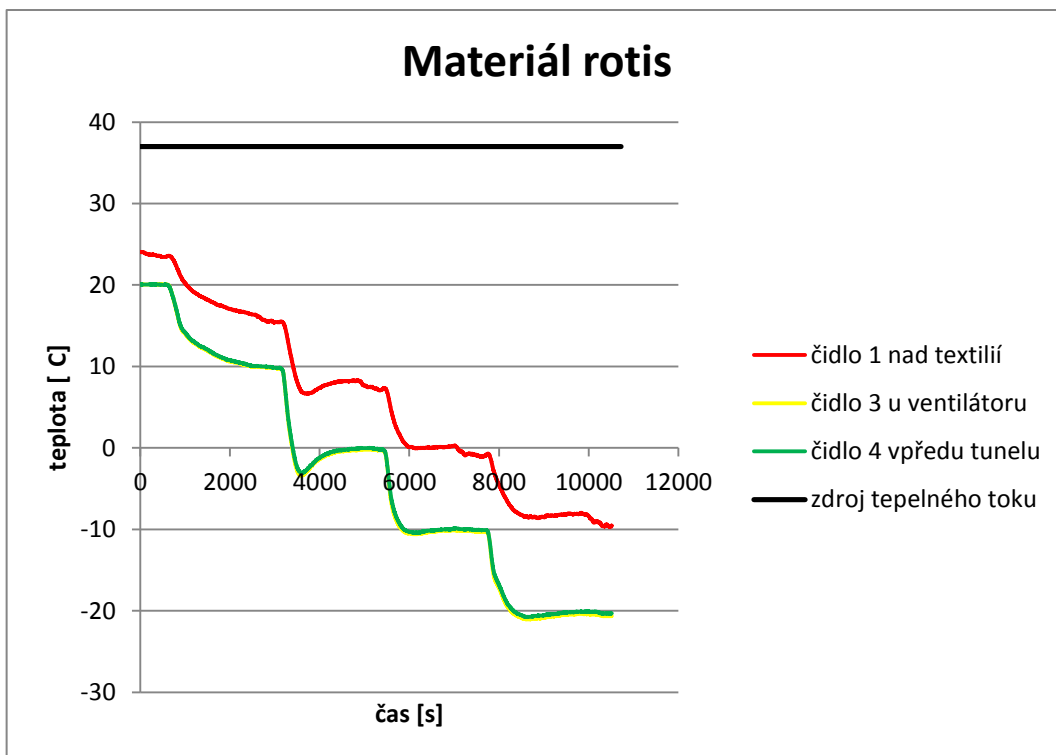
Příloha č. 12: Grafy naměřených hodnot teploty materiálů a tabulky s ustálenými hodnotami teploty za předpokladu, že textilie jsou v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku



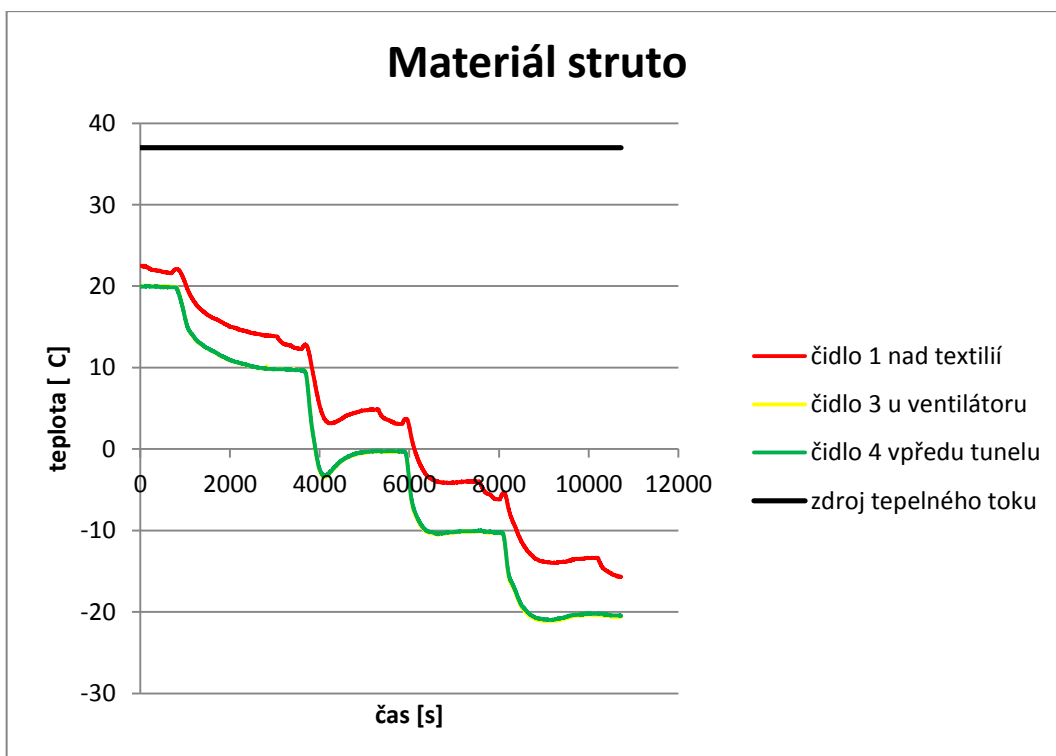
Graf 3 Naměřené hodnoty teploty materiálu JC1101



Graf 4 Naměřené hodnoty teploty materiálu bavlna



Graf 5 Naměřené hodnoty teploty materiálu rotis



Graf 6 Naměřené hodnoty teploty materiálu struto



Tabulka 23 Ustálené hodnoty teploty pro jednotlivá čidla materiálu JC1101 v přímém kontaktku textilie se zdrojem tepelného toku

Teplota okolí [°C]	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Čidlo 1 teplota [°C]	Čidlo 3 teplota [°C]	Čidlo 4 teplota [°C]
20	0,73	30,04	20	20,09
	1,7	28,87	20	20,09
	2,1	28,11	19,96	20
10	0,73	26,46	10,07	10,3
	1,7	23,44	9,94	10,07
	2,1	22,56	9,72	9,85
0	0,73	21,57	-0,29	0,02
	1,7	18,22	-0,07	0,15
	2,1	16,89	-0,21	-0,01
-10	0,73	16,59	-9,96	-9,62
	1,7	12,52	-10	-9,73
	2,1	11,12	-10,17	-9,9
-20	0,73	10,09	-20,35	-19,93
	1,7	6,79	-20,31	-19,93
	2,1	5,65	-20,43	-20,06

Tabulka 24 Ustálené hodnoty teploty pro jednotlivá čidla materiálu bavlna v přímém kontaktku textilie se zdrojem tepelného toku

Teplota okolí [°C]	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Čidlo 1 teplota [°C]	Čidlo 3 teplota [°C]	Čidlo 4 teplota [°C]
20	0,73	27,94	20,27	20,35
	1,7	26,16	20,27	20,27
	2,1	25,49	20,09	20,04
10	0,73	23,05	10,07	10,3



	1,7	19,81	9,94	10,03
	2,1	18,48	9,72	9,71
	0,73	17,25	-0,29	-0,06
0	1,7	13,29	-0,11	0,02
	2,1	11,83	-0,29	-0,21
	0,73	11,29	-10,09	-9,82
-10	1,7	6,7	-10,09	-9,9
	2,1	5,33	-10,21	-10,03
	0,73	5,91	-20,31	-19,93
-20	1,7	0,08	-20,35	-20,1
	2,1	-1,93	-20,52	-20,24
	0,73			

Tabulka 25 Ustálené hodnoty teploty pro jednotlivá čidla materiálu rotis v přímém kontaktu textilie se zdrojem tepelného toku

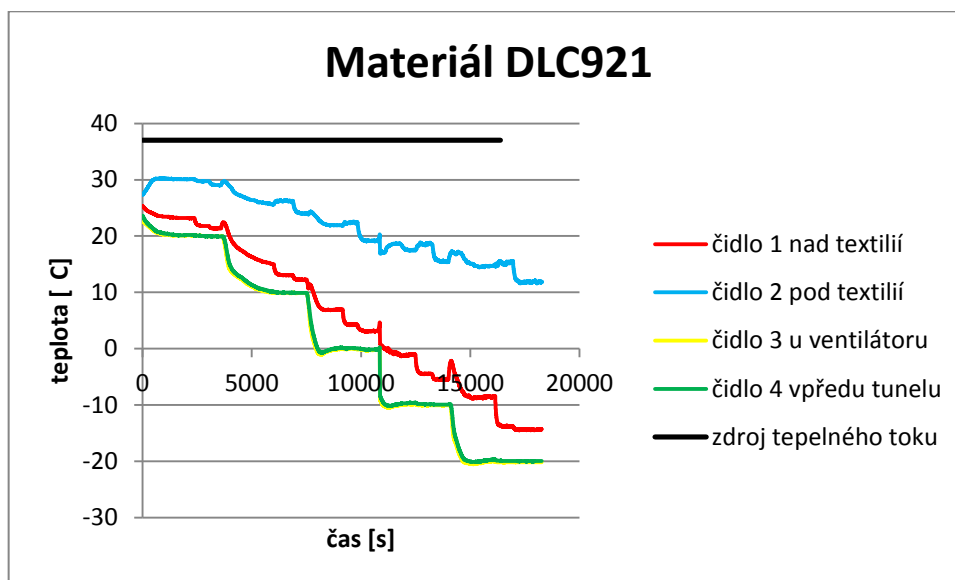
Teplota okolí [°C]	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Čidlo 1 teplota [°C]	Čidlo 3 teplota [°C]	Čidlo 4 teplota [°C]
20	0,73	24,05	20,09	20,04
	1,7	23,7	20,09	20,09
	2,1	23,49	20,04	20
10	0,73	16,41	9,98	10,12
	1,7	15,47	9,85	9,94
	2,1	15,39	9,81	9,85
0	0,73	8,24	-0,29	-0,1
	1,7	7,49	-0,21	-0,01
	2,1	7,18	-0,25	-0,16
-10	0,73	0,17	-10,17	-9,95
	1,7	-0,83	-10,21	-9,99
	2,1	-1,11	-10,31	-10,07
-20	0,73	-8,03	-20,39	-20,1
	1,7	-9,09	-20,52	-20,15
	2,1	-9,53	-20,65	-20,34



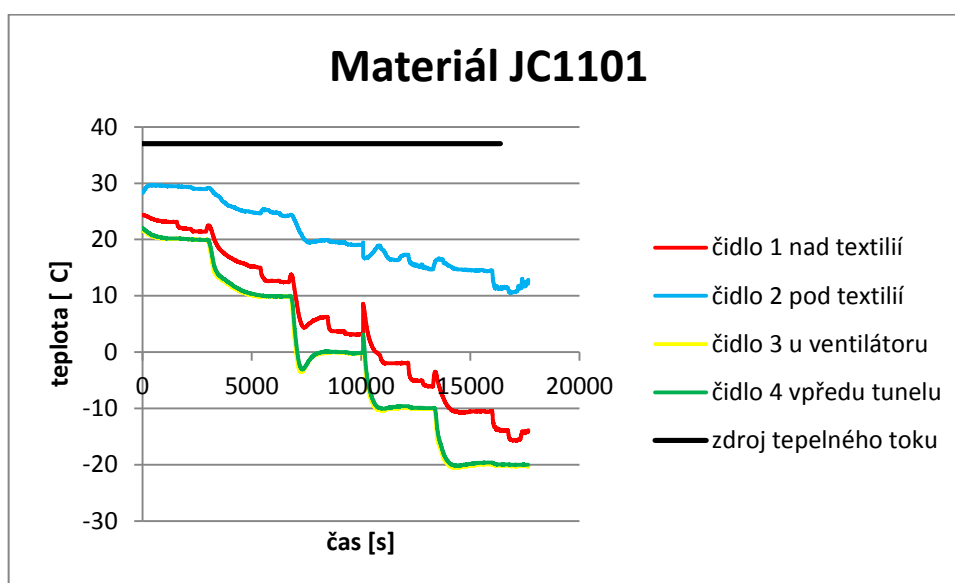
Tabulka 26 Ustálené hodnoty teploty pro jednotlivá čidla materiálu struto v přímém kontaktku textilie se zdrojem tepelného toku

Teplota okolí [°C]	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Čidlo 1 teplota [°C]	Čidlo 3 teplota [°C]	Čidlo 4 teplota [°C]
20	0,73	22,48	20	19,96
	1,7	21,95	20	19,96
	2,1	21,65	19,96	19,87
10	0,73	13,84	9,81	9,8
	1,7	12,79	9,81	9,8
	2,1	12,3	9,72	9,67
0	0,73	4,84	-0,29	-0,25
	1,7	3,65	-0,34	-0,25
	2,1	3,09	-0,29	-0,29
-10	0,73	-4,01	-10,09	-10,03
	1,7	-5,53	-10,21	-10,17
	2,1	-6,15	-10,31	-10,21
-20	0,73	-13,39	-20,35	-20,2
	1,7	-14,94	-20,48	-20,3
	2,1	-15,61	-20,61	-20,42

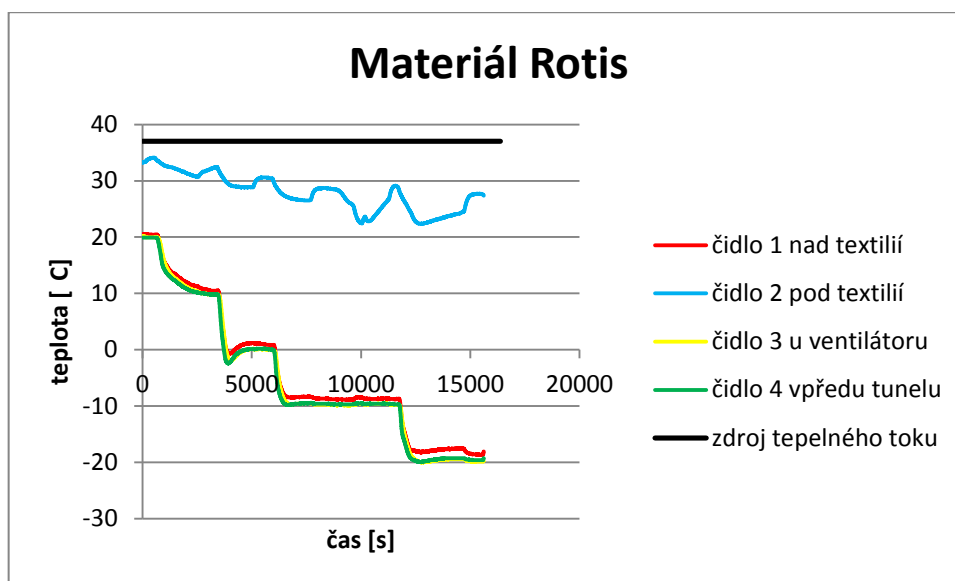
Příloha č. 13: Grafy naměřených hodnot teploty materiálů a tabulky s ustálenými hodnotami teploty za předpokladu, že mezi textilií a zdrojem tepelného toku je vzduchová mezera



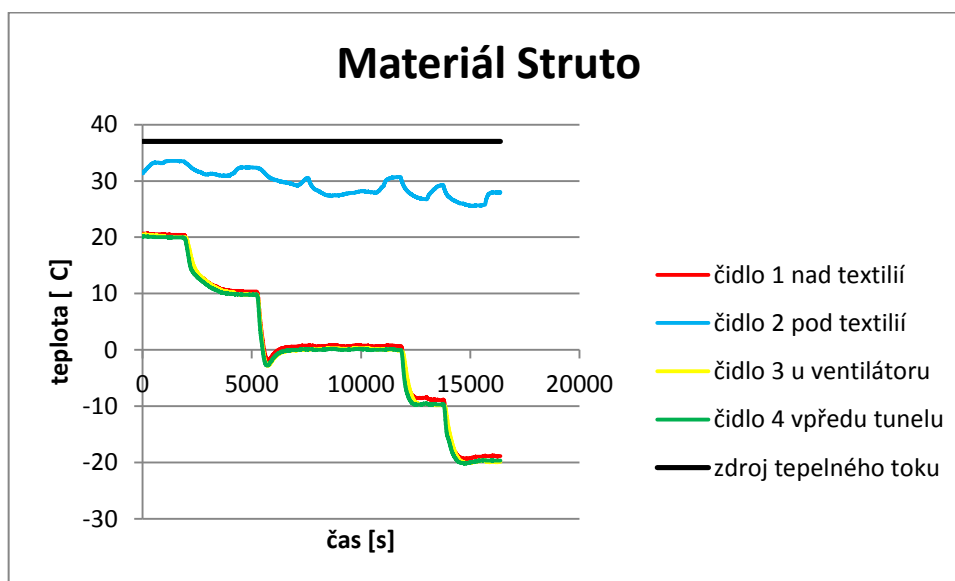
Graf 7 Naměřené hodnoty teploty materiálu DLC921



Graf 8 Naměřené hodnoty teploty materiálu JC1101



Graf 9 Naměřené hodnoty teploty materiálu rotis



Graf 10 Naměřené hodnoty teploty materiálu struto



Tabulka 27 Ustálené hodnoty teploty pro jednotlivá čidla materiálu JC1101, kdy mezi textilií a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera

Teplota okolí [°C]	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Čidlo 1 teplota [°C]	Čidlo 2 teplota [°C]	Čidlo 3 teplota [°C]	Čidlo 4 teplota [°C]
20	0,73	23,11	29,48	20,11	20,19
	1,7	21,88	29,32	20,03	20,03
	2,1	21,39	28,93	19,92	19,89
10	0,73	14,99	24,62	9,85	10,08
	1,7	12,71	24,68	9,9	9,94
	2,1	12,45	24,18	9,86	9,89
0	0,73	6,25	19,89	-0,14	0,09
	1,7	3,69	19,57	-0,14	-0,01
	2,1	3,17	19,03	-0,24	-0,14
-10	0,73	-1,93	17,28	-9,92	-9,6
	1,7	-5,09	15,51	-10,12	-9,93
	2,1	-6,04	14,71	-10,11	-9,95
-20	0,73	-10,47	14,45	-19,94	-19,61
	1,7	-13,92	11,57	-20,19	-19,95
	2,1	-14,11	12,35	-20,22	-20,01

Tabulka 28 Ustálené hodnoty teploty pro jednotlivá čidla materiálu DLC921, kdy mezi textilií a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera

Teplota okolí [°C]	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Čidlo 1 teplota [°C]	Čidlo 2 teplota [°C]	Čidlo 3 teplota [°C]	Čidlo 4 teplota [°C]
20	0,73	23,16	30,11	20,07	20,18
	1,7	21,77	29,74	20,01	20



	2,1	21,33	29,04	19,96	19,9
10	0,73	15	25,63	9,94	10,15
	1,7	13,03	26,09	9,9	9,94
	2,1	12,23	24,01	9,89	9,9
0	0,73	6,98	21,92	-0,06	0,15
	1,7	4,19	22,24	-0,06	0,07
	2,1	3,13	19,17	-0,24	-0,18
-10	0,73	-0,99	17,39	-9,88	-9,63
	1,7	-4,45	18,61	-10,06	-9,88
	2,1	-5,49	15,36	-10,07	-9,93
-20	0,73	-8,62	14,7	-20,03	-19,69
	1,7	-13,8	15,28	-20,2	-19,96
	2,1	-14,42	11,85	-20,17	-19,96

Tabulka 29 Ustálené hodnoty teploty pro jednotlivá čidla materiálu rotis, kdy mezi textilií a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera

Teplota okolí [°C]	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Čidlo 1 teplota [°C]	Čidlo 2 teplota [°C]	Čidlo 3 teplota [°C]	Čidlo 4 teplota [°C]
20	0,73	20,54	33,3	20,1	19,91
	1,7	20,47	33,95	19,98	19,92
	2,1	20,42	34,09	19,97	19,89
10	0,73	11,24	30,72	10,39	10,18
	1,7	10,65	31,85	9,89	9,89
	2,1	10,45	32,41	9,82	9,8
0	0,73	1,17	28,87	0,13	0,1
	1,7	1,04	30,59	0,09	0,19

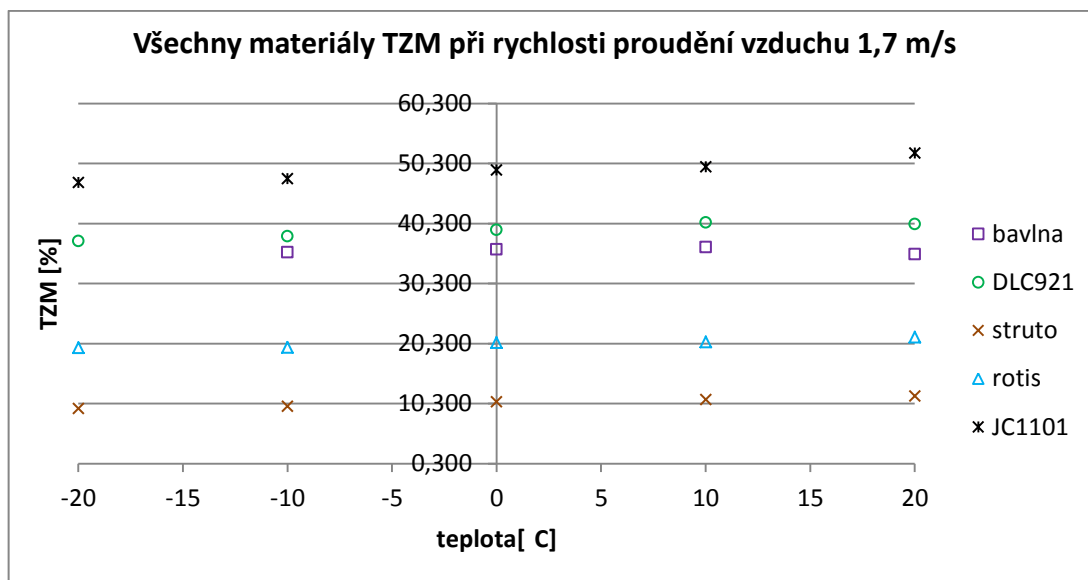


	2,1	0,77	30,46	-0,07	-0,02
-10	0,73	-8,55	27,93	-9,69	-9,56
	1,7	-8,68	28,7	-9,77	-9,62
	2,1	-8,76	28,97	-9,82	-9,65
-20	0,73	-17,57	24,46	-19,43	-19,29
	1,7	-18,5	27,42	-19,81	-19,56
	2,1	-18,68	27,65	-19,9	-19,62

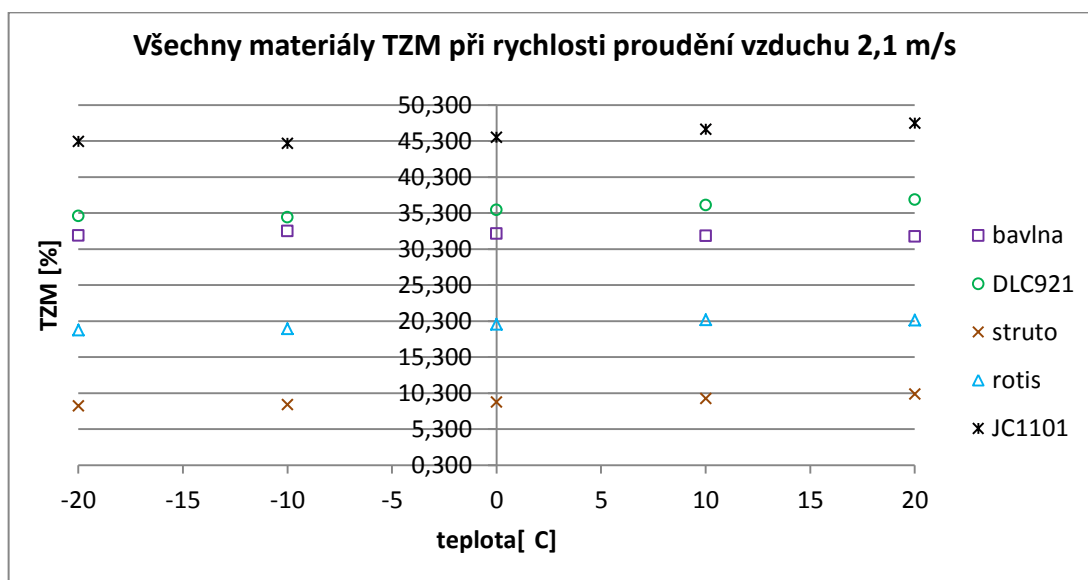
Tabulka 30 Ustálené hodnoty teploty pro jednotlivá čidla materiálu struto, kdy mezi textilií a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera

Teplota okolí [°C]	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Čidlo 1 teplota [°C]	Čidlo 2 teplota [°C]	Čidlo 3 teplota [°C]	Čidlo 4 teplota [°C]
20	0,73	20,55	33,23	20,31	20,04
	1,7	20,44	33,57	20,06	19,99
	2,1	20,37	33,48	20,03	19,97
10	0,73	10,48	31,37	10,16	9,89
	1,7	10,35	32,4	9,82	9,78
	2,1	10,37	32,37	9,85	9,82
0	0,73	0,67	29,44	-0,01	0,05
	1,7	0,76	30,46	0,03	0,09
	2,1	0,6	30,72	-0,11	-0,06
-10	0,73	-8,51	26,76	-9,54	-9,55
	1,7	-8,83	28,52	-9,77	-9,63
	2,1	-8,92	29,27	-9,84	-9,71
-20	0,73	-19	25,65	-19,84	-19,75
	1,7	-18,86	25,77	-19,65	-19,59
	2,1	-18,85	27,96	-19,9	-19,65

Příloha č. 14: Grafy vypočítaných tepelných ztrát materiálů pro dané okolní teploty a rychlosti proudění okolního vzduchu, kdy materiál byl v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku



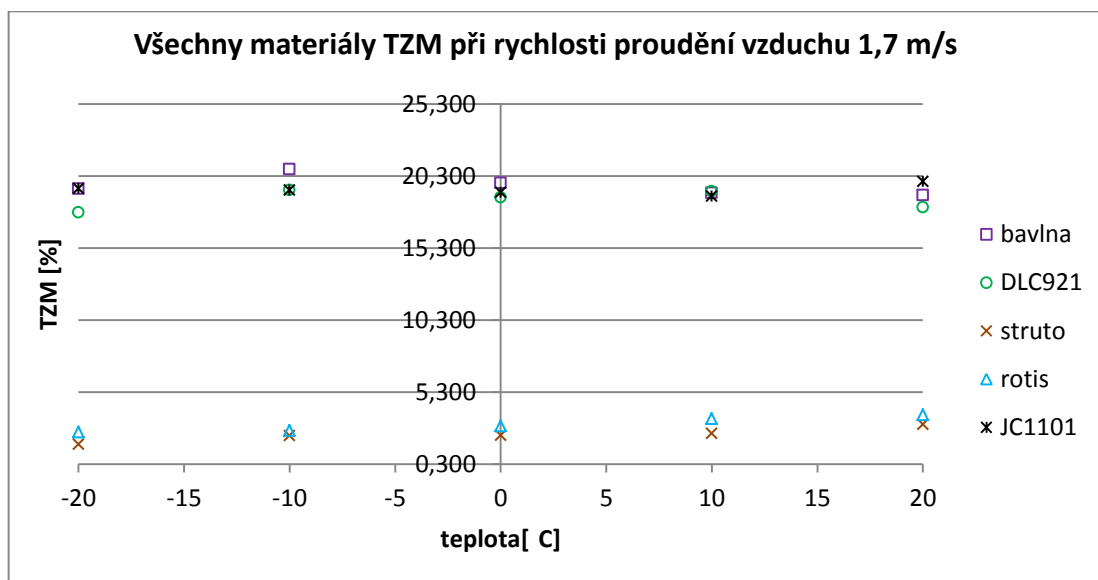
Graf 11 Vypočítané tepelné ztráty materiálů pro dané okolní teploty a rychlosti 1,7 m/s proudění okolního vzduchu, kdy materiál je v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku



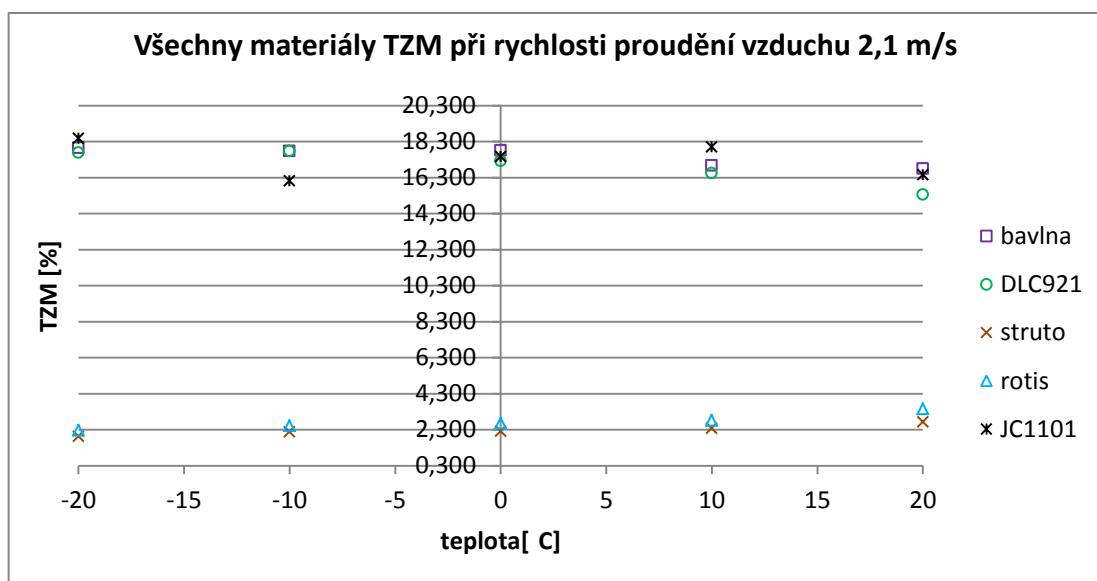
Graf 12 Vypočítané tepelné ztráty materiálů pro dané okolní teploty a rychlosti 2,1 m/s proudění okolního vzduchu, kdy materiál je v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku

toku

Příloha č. 15: Grafy vypočítaných tepelných ztrát materiálů pro dané okolní teploty a rychlosti proudění okolního vzduchu, kdy mezi materiálem a zdrojem tepelného toku byla vzduchová mezera



Graf 13 Vypočítané tepelné ztráty materiálů pro dané okolní teploty a rychlosti 1,7 m/s proudění okolního vzduchu, kdy mezi materiálem a zdrojem tepelného toku je vzduchová mezera



Graf 14 Vypočítané tepelné ztráty materiálů pro dané okolní teploty a rychlosti 2,1 m/s proudění okolního vzduchu, kdy mezi materiálem a zdrojem tepelného toku je vzduchová mezera

Příloha č. 16: Naměřené a vypočítané hodnoty pro metodiku měření tepelných ztrát bez použití teplotních čidel

Tabulka 31 Naměřené hodnoty času pro ohřev a ochlazení měděné destičky o 1 °C pro 1 vrstvu bavlny v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku

Rychlost proudění vzduchu	Číslo měření	Teplota okolí 20 °C		Teplota okolí 10 °C		Teplota okolí 0 °C	
		Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]
0,73m/s	1	54,1	179,7	65	115,5	82,5	85,8
	2	53,6	178,2	64,7	115,2	81,8	84,9
	3	53,9	179,9	64,4	115,5	81,7	84,2
	4	53,9	179,4	63,7	115	82	85,6
	5	53,8	179,3	64,6	115,3	81,4	84,8
1,7m/s	1	58,1	148,3	73,5	96	105,7	70,8
	2	57,3	147,4	73,6	95,3	105,3	69,4
	3	57,7	147,2	73	95,3	104,7	69,2
	4	57,9	146,7	74	95,7	103,9	70,1
	5	58,2	148	73,9	95,1	104,5	69,7
2,1m/s	1	60,1	136,2	78,9	85	122,4	63,5
	2	59,4	136,4	78,6	86,7	122,7	64
	3	59,8	136,4	79,7	86,3	122,1	63,3
	4	59,1	135,4	79,8	86,5	123	62,4



	5	59,5	136	79,8	87,1	122	63,1
0,73m/s	ø	53,86	179,3	64,48	115,3	81,88	85,06
1,7m/s	ø	57,84	147,52	73,6	95,48	104,82	69,84
2,1m/s	ø	59,58	136,08	79,36	86,32	122,44	63,26

Tabulka 31 pokračování

Rychlost proudění vzduchu	Číslo měření	Teplota okolí -10 °C		Teplota okolí -20 °C	
		<i>Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]</i>	<i>Pokles teploty 37,0→36,0 [s]</i>	<i>Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]</i>	<i>Pokles teploty 37,0→36,0 [s]</i>
0,73m/s	1	107,8	66,9	172,5	54,1
	2	108,3	66,4	172,7	54
	3	108,2	66,7	172	53,9
	4	107,1	66,6	171,9	54
	5	108,5	66,4	172,5	54,3
1,7m/s	1	161	55,2	500,6	45,6
	2	160,8	56	501,1	45,3
	3	162,8	55,5	500	45,4
	4	161,9	55,8	502	45
	5	162,4	55,4	500,7	44,9
2,1m/s	1	232,9	49,2	2058	40,8
	2	233,3	50,6	2012	39,9
	3	232,8	50,9	2079	39,5
	4	233	50,1	-	-
	5	233,3	50,7	-	-
0,73m/s	ø	107,98	66,6	172,32	54,06
1,7m/s	ø	161,78	55,58	500,88	45,24
2,1m/s	ø	233,06	50,3	2049,67	40,07



Tabulka 32 Naměřené hodnoty času pro ohřev a ochlazení měděné destičky o 1 °C pro 2 vrstvy bavlny v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku

Rychlost proudění vzduchu	Číslo měření	Teplota okolí 20 °C		Teplota okolí 10 °C		Teplota okolí 0 °C	
		Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]
0,73m/s	1	51,1	196,1	61,2	127,5	73,5	95,4
	2	51,8	197,2	60,5	128,2	72,7	96,3
	3	51,7	196,4	60,2	128,5	72,8	95,4
	4	51,9	196,7	60,3	127,4	73,6	95,7
	5	51,5	196,4	60,7	127,9	73,2	95,9
1,7m/s	1	54,9	167,5	67,7	105,7	88	79,2
	2	54,6	168	67,2	106,5	87,8	79,1
	3	55,3	168,2	67,4	106	87,5	79,4
	4	54,7	166,8	67,4	105,6	87,7	79,1
	5	55,1	167,9	67,6	106,1	87,8	79,5
2,1m/s	1	56,2	156,7	70,3	101,1	94	75,1
	2	55,2	156,5	70,6	101	93,6	74,3
	3	56,5	157,4	70,1	100,6	93,6	74,9
	4	55,3	155,7	69,7	100,4	93,4	74,1
	5	56	157,6	70	101,1	93,2	74,5
0,73m/s	ø	51,6	196,56	60,58	127,9	73,16	95,74
1,7m/s	ø	54,92	167,68	67,46	105,98	87,76	79,26
2,1m/s	ø	55,84	156,78	70,14	100,84	93,56	74,58

Tabulka 32 pokračování

Rychlost proudění vzduchu	Číslo měření	Teplota okolí -10 °C		Teplota okolí -20 °C	
		Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]
0,73m/s	1	93,1	73,8	128	62,2
	2	92,9	74,2	126,7	61,7
	3	93,7	74,4	126,7	62
	4	92,6	74,4	128,7	61,3
	5	93,4	74,1	127,4	61,9
1,7m/s	1	122,7	61,8	209,1	51,2



	2	123,6	62,4	210,1	51,4
	3	123,9	62,1	210,8	51,6
	4	123	61,9	211,3	51,2
	5	122,7	62,5	211,8	51,7
2,1m/s	1	137,7	60,6	265	49,1
	2	137,1	59,7	265,1	49,1
	3	136,5	60,1	262,4	49,2
	4	136,8	59,3	263,7	49,4
	5	136,5	59,4	262,4	49,2
0,73m/s	ø	93,14	74,18	127,5	61,82
1,7m/s	ø	123,18	62,14	210,62	51,42
2,1m/s	ø	136,92	59,82	263,72	49,20

Tabulka 33 Naměřené hodnoty času pro ohřev a ochlazení měděné destičky o 1 °C pro 3 vrstvy bavlny v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku

Rychlost proudění vzduchu	Číslo měření	Teplota okolí 20 °C		Teplota okolí 10 °C		Teplota okolí 0 °C	
		Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]
0,73m/s	1	50,8	208,6	59,1	139,1	70,8	99,4
	2	50,1	207,4	58,9	138,6	70,6	100,2
	3	51	208,2	59,2	138,9	70,5	99,5
	4	50,8	207,7	59,6	139,3	70,6	99,4
	5	50,5	208,1	59,5	139,2	70,4	99,7
1,7m/s	1	53,2	181,2	63,9	115,4	81,9	84,1
	2	53,5	180	64,4	115,3	81,1	85
	3	53,4	181,4	63,4	114,7	81,8	85,3
	4	53,8	180,4	64,6	115,3	81,3	84,8
	5	53,4	180,8	64,1	114,9	81,9	85,1
2,1m/s	1	54	172,8	67,1	111,1	84,1	81,5
	2	53,9	172,6	66,5	111,8	84	81,4
	3	54,9	171,8	66,5	111,2	83,8	81,1
	4	54,2	173,1	66,2	110,5	84,2	81,3



	5	54,8	172,9	66,6	110,9	84	81,7
0,73m/s	ø	50,64	208	59,26	139,02	70,58	99,64
1,7m/s	ø	53,46	180,76	64,08	115,12	81,6	84,86
2,1m/s	ø	54,36	172,64	66,58	111,1	84,02	81,4

Tabulka 33 pokračování

Rychlost proudění vzduchu	Číslo měření	Teplota okolí -10 °C		Teplota okolí -20 °C	
		<i>Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]</i>	<i>Pokles teploty 37,0→36,0 [s]</i>	<i>Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]</i>	<i>Pokles teploty 37,0→36,0 [s]</i>
0,73m/s	1	88	77,9	116	65
	2	87,4	78,6	116,5	64,6
	3	88	78,9	115	64,8
	4	87,5	78,3	115,9	65,1
	5	87,7	78,6	116,2	64,8
1,7m/s	1	107,3	68,1	162,4	56,1
	2	106,7	67,6	163,2	57,1
	3	106,5	67,3	162,9	56,2
	4	107	68,1	163	57
	5	106,9	67,6	162,6	56,4
2,1m/s	1	116,6	65,4	182	54,3
	2	115,6	64,2	182,7	53,7
	3	115,9	65,3	182,8	54,1
	4	116,8	65,1	181,7	53,9
	5	115,9	64,9	181,9	54,1
0,73m/s	ø	87,72	78,46	115,92	64,86
1,7m/s	ø	106,88	67,74	162,82	56,56
2,1m/s	ø	116,16	64,98	182,22	54,02



Tabulka 34 Naměřené hodnoty času pro ohřev a ochlazení měděné destičky o 1 °C pro 4 vrstvy bavlny v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku

Rychlost proudění vzduchu	Číslo měření	Teplota okolí 20 °C		Teplota okolí 10 °C		Teplota okolí 0 °C	
		Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]
0,73m/s	1	50,8	221,6	58	145,2	68	106,3
	2	50,3	221,7	57,4	144,6	68	106,3
	3	50,5	221,5	58,6	145,3	67,7	106,7
	4	50,7	222,4	57,9	144,9	67,6	107,4
	5	50,2	222,9	58,1	144,7	68,6	107,6
1,7m/s	1	52	201,5	62,5	125,9	75,2	94,4
	2	51,6	199,5	61,4	125,7	74,8	93
	3	52,6	200,4	61,6	126,5	75	93,7
	4	52,2	199,1	62	127,2	75,9	94,5
	5	52	199,7	61,7	126	75,3	93,2
2,1m/s	1	52,9	191	62,4	124,4	77,8	90,7
	2	52,6	190,1	62,7	123,2	77,8	90,3
	3	52,5	191,4	62,9	124,8	76,8	90
	4	52,7	189,4	63,3	123,2	77,2	90,5
	5	52,4	190,9	63	123,8	77	90,3
0,73m/s	ø	50,5	222,02	58	144,94	67,98	106,86
1,7m/s	ø	52,08	200,04	61,84	126,26	75,24	93,76
2,1m/s	ø	52,62	190,56	62,86	123,88	77,32	90,36

Tabulka 34 pokračování

Rychlost proudění vzduchu	Číslo měření	Teplota okolí -10 °C		Teplota okolí -20 °C	
		Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]
0,73m/s	1	83,8	86,6	102,2	70,5
	2	82,5	85,6	101,4	71,4
	3	81,9	85,5	101,8	71,2
	4	81,2	86,2	101,9	70,2
	5	81,9	86,1	101,4	70,9
1,7m/s	1	89,9	75,5	122,9	61,9



	2	88,4	75,8	122,8	62,2
	3	88,8	75,4	123,4	61,9
	4	88,7	75,8	122,9	62,6
	5	89,2	75,6	123	62,3
2,1m/s	1	94,5	72,8	131,5	60,4
	2	94,4	73,7	132,1	60,6
	3	93,6	72,3	132,4	60,6
	4	93,5	72,4	131,9	60,2
	5	94	72,7	131,7	60,7
0,73m/s	ø	82,26	86	101,74	70,84
1,7m/s	ø	89	75,62	123	62,18
2,1m/s	ø	94	72,78	131,92	60,50

Tabulka 35 Naměřené hodnoty času pro ohřev a ochlazení měděné destičky o 1 °C pro 5 vrstev bavlny v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku

Rychlost proudění vzduchu	Číslo měření	Teplota okolí 20 °C		Teplota okolí 10 °C		Teplota okolí 0 °C	
		Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]
0,73m/s	1	50,6	230,5	57,1	149,5	66,7	112,5
	2	50,7	230,2	57,4	149,6	65,8	112,5
	3	50,8	231,2	58,2	150,1	66,4	112,3
	4	50,8	230,2	57,5	149,5	66,1	111,7
	5	50,6	230,8	57,7	149,7	66,3	112,2
1,7m/s	1	52,1	206,8	59,4	132,3	71,1	99,4
	2	52,4	207,4	59,9	132,3	70,4	99,7
	3	51,4	207	59,7	132,5	70,9	99,4
	4	52	207,6	59,5	132,4	70,3	98,1
	5	51,9	207,1	60	132,4	71,2	99,3
2,1m/s	1	51,8	200,2	61,8	130,3	73,9	95,5
	2	51,5	198,7	61,8	130,6	73,7	96
	3	51,5	198,8	61,1	131,4	74	95,3
	4	51,5	200,6	61,4	130,7	73,6	96,4



	5	51,4	199,7	61,6	131,1	73,9	96,1
0,73m/s	ø	50,7	230,58	57,58	149,68	66,26	112,24
1,7m/s	ø	51,96	207,18	59,7	132,38	70,78	99,18
2,1m/s	ø	51,54	199,6	61,54	130,82	73,82	95,86

Tabulka 35 pokračování

Rychlost proudění vzduchu	Číslo měření	Teplota okolí -10 °C		Teplota okolí -20 °C	
		Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]
0,73m/s	1	70,8	87,9	98,4	72,9
	2	72,8	87,7	98,6	72,5
	3	78,6	88,5	97,7	73
	4	79	88,1	97,9	72,3
	5	78,8	88,3	98,1	72,7
1,7m/s	1	87,9	80,4	113	66,3
	2	87,6	79,5	114,1	66,4
	3	87,7	79,4	113,8	65,7
	4	87,1	80,3	113,7	66,6
	5	87,5	79,8	113,5	65,9
2,1m/s	1	90,9	78,4	119,4	64,2
	2	91,2	78,3	119	64,1
	3	90,8	77,5	119	64,1
	4	91,7	77,4	119,9	63,9
	5	90,1	78,1	119,4	64,2
0,73m/s	ø	76	88,1	98,14	72,68
1,7m/s	ø	87,56	79,88	113,62	66,18
2,1m/s	ø	90,94	77,94	119,34	64,10



Tabulka 36 Naměřené hodnoty času pro ohřev a ochlazení měděné destičky o 1 °C pro 1 vrstvu bavlny se vzduchovou mezerou mezi textilií a zdrojem tepelného toku

Rychlost proudění vzduchu	Číslo měření	Teplota okolí 20 °C		Teplota okolí 10 °C		Teplota okolí 0 °C	
		Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]
0,73m/s	1	48,1	300,9	51,8	181,8	58,4	134,9
	2	47,8	302,2	52,4	183,5	57,7	135,5
	3	47,2	302,4	51,2	181,6	57,2	136
	4	47,5	301,1	51,9	184,5	58,1	136,8
	5	46,9	301,9	51,4	183,6	57,4	135,5
1,7m/s	1	46,8	282,3	51,8	173,5	59,3	128,1
	2	46,4	281,9	52,4	174,4	58,5	126,8
	3	47	282,1	52,5	173,6	59,8	128,3
	4	46,5	281,8	52,4	174,6	59,2	127,7
	5	46,3	282	52,4	174,8	59,2	127,9
2,1m/s	1	48,1	277,1	52	174,1	62,1	123,7
	2	47,5	278,5	52,2	172,7	60,3	124,7
	3	47,4	276,4	52,5	173,1	61,3	124,8
	4	47,5	277,4	53,3	172,1	61,2	125,8
	5	47,3	277,9	52,5	173,3	60,3	124,9
0,73m/s	ø	47,5	301,7	51,74	183	57,76	135,74
1,7m/s	ø	46,6	282,02	52,3	174,18	59,2	127,76
2,1m/s	ø	47,56	277,46	52,5	173,06	61,04	124,78

Tabulka 36 pokračování

Rychlost proudění vzduchu	Číslo měření	Teplota okolí -10 °C		Teplota okolí -20 °C	
		Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]
0,73m/s	1	66,6	108,5	74,9	88,6
	2	65,9	109,6	75,5	87
	3	65,7	108,6	75	87,7
	4	65,4	108,5	75,9	88,2
	5	65,9	108,1	75,5	87,5



1,7m/s	1	69,2	100,5	81	81,6
	2	68,5	100,6	80,1	82,5
	3	67,6	100,2	80,7	82,5
	4	69	100,5	80,2	82,5
	5	68,7	100,1	80,3	82,3
2,1m/s	1	71,3	96,7	86,5	77
	2	71,4	97,1	85,3	79
	3	70,6	96,7	85,9	77,3
	4	72	97,3	86,1	78
	5	70,3	97	85,3	77,6
0,73m/s	ø	65,9	108,66	75,36	87,8
1,7m/s	ø	68,6	100,38	80,46	82,28
2,1m/s	ø	71,12	96,96	85,82	77,78

Tabulka 37 Naměřené hodnoty času pro ohřev a ochlazení měděné destičky o 1 °C pro 2 vrstvy bavlny se vzduchovou mezerou mezi textilií a zdrojem tepelného toku

Rychlost proudění vzduchu	Číslo měření	Teplota okolí 20 °C		Teplota okolí 10 °C		Teplota okolí 0 °C	
		Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]
0,73m/s	1	46,9	304,2	52,2	192,2	56,1	139,9
	2	46,4	305,5	52,9	191	56,6	140,5
	3	46,4	305,2	51,7	193,4	57,7	141,1
	4	46,2	304,2	51,8	192,2	57,9	141,5
	5	46,4	303,3	52	191,4	56,9	140,8
1,7m/s	1	47,1	296,5	51	184,3	58,7	132,7
	2	46,7	294,1	51,5	183,4	58,1	132,6
	3	46,4	295,5	51,7	183,4	57,4	132,6
	4	46,5	297,5	52,2	184,6	57,4	133,7
	5	46,3	296,3	51,9	184	57,8	133,3
2,1m/s	1	47,2	294,3	52,7	182,7	58	131,5
	2	46,7	292,6	51,9	183,9	58,6	132
	3	46,6	293,1	51,5	182,8	57,9	132,5
	4	46,1	292,7	51,9	182,4	58,9	131,4



	5	46,9	293,5	51	183,1	58,1	131,1
0,73m/s	ø	46,46	304,48	52,12	192,04	57,04	140,76
1,7m/s	ø	46,6	295,98	51,66	183,94	57,88	132,98
2,1m/s	ø	46,7	293,24	51,8	182,98	58,3	131,7

Tabulka 37 pokračování

Rychlost proudění vzduchu	Číslo měření	Teplota okolí -10 °C		Teplota okolí -20 °C	
		Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]
0,73m/s	1	64,1	110,5	73,7	92,6
	2	63,4	110,8	73,2	93,4
	3	63,7	110,4	73,8	91,4
	4	63,4	111,5	72,7	92,3
	5	64	111,1	72,9	93,4
1,7m/s	1	65,7	105,9	77,9	87,4
	2	65,4	106	76	88,5
	3	66,1	105,8	76,7	87,3
	4	65,3	105,5	77,7	87,8
	5	65,6	105,3	76,3	88
2,1m/s	1	67,9	105,2	78,1	85,4
	2	66,5	104,6	77,8	85,4
	3	66,6	104,6	77,7	86,3
	4	66,3	104,6	77,8	86,3
	5	65,9	104,4	78,1	85
0,73m/s	ø	63,72	110,86	73,26	92,62
1,7m/s	ø	65,62	105,7	76,92	87,8
2,1m/s	ø	66,64	104,68	77,9	85,68



Tabulka 38 Naměřené hodnoty času pro ohřev a ochlazení měděné destičky o 1 °C pro 3 vrstvy bavlny se vzduchovou mezerou mezi textilií a zdrojem tepelného toku

Rychlost proudění vzduchu	Číslo měření	Teplota okolí 20 °C		Teplota okolí 10 °C		Teplota okolí 0 °C	
		Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]
0,73m/s	1	46,6	310,4	51,4	194	57	142,2
	2	46,7	309,2	51,5	194,7	56,8	142,6
	3	47,3	309,7	50,6	194,7	56,6	143,7
	4	47,5	309,4	51,6	195,1	56,5	142,6
	5	46,2	309,1	51,1	194,9	56,3	143
1,7m/s	1	45,7	301,6	52,4	187,6	58,1	138,7
	2	46,4	299,2	52	188,6	56,8	139,9
	3	45,9	300,8	51,4	187,7	57,6	138,5
	4	46,2	299,7	51,4	187,1	57,4	139,4
	5	45,5	301,2	51,8	188,2	57,9	139
2,1m/s	1	48	296	52,7	187,5	59	137,4
	2	48	295,5	51,6	186,8	57,8	137,4
	3	46,8	295,4	51,4	186,3	58	136,7
	4	46,6	297,7	51,8	187,1	58,5	137,5
	5	46,9	296,1	52	186,9	58,7	136,9
0,73m/s	ø	46,86	309,56	51,24	194,68	56,64	142,82
1,7m/s	ø	45,94	300,5	51,8	187,84	57,56	139,1
2,1m/s	ø	47,26	296,14	51,9	186,92	58,4	137,18

Tabulka 38 pokračování

Rychlost proudění vzduchu	Číslo měření	Teplota okolí -10 °C		Teplota okolí -20 °C	
		Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]	Nárůst teploty 36,0→37,0 [s]	Pokles teploty 37,0→36,0 [s]
0,73m/s	1	64,5	113,8	70,7	94,9
	2	63,6	112,3	71,9	93,6
	3	63,7	113,8	71,6	94,6
	4	63,9	112,4	70,5	93,5
	5	63,6	113,9	71,7	94,3
1,7m/s	1	66,2	110,4	74,3	90,8



	2	66,2	111,2	73,4	91,4
	3	64,9	110,5	73,9	90,5
	4	64,4	109,8	74,1	90,9
	5	65,2	110	74	90,5
2,1m/s	1	66	108,2	75	89,5
	2	65,9	108,7	74,6	89,7
	3	65,7	108,4	74,9	90,1
	4	65,7	108,7	75,4	89,2
	5	66,2	109,1	75,2	89,5
0,73m/s	ø	63,86	113,24	71,28	94,18
1,7m/s	ø	65,38	110,38	73,94	90,82
2,1m/s	ø	65,9	108,62	75,02	89,6

Tabulka 39 Vypočítané hodnoty množství tepla pro zvýšení teploty destičky z 36,0 na 37,0 °C pro různé vrstvy bavlny v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku

Počet vrstev bavlny	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Množství tepla pro zvýšení teploty destičky z 36,0 na 37,0 °C [J]				
		Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]
		20	10	0	-10	-20
1	0,73	672,173	804,710	1021,862	1347,590	2150,554
	1,7	721,843	918,528	1308,154	2019,014	6250,982
	2,1	743,558	990,413	1528,051	2908,589	25579,840
2	0,73	643,968	756,038	913,037	1162,387	1591,200
	1,7	685,402	841,901	1095,245	1537,286	2628,538
	2,1	696,883	875,347	1167,629	1708,762	3291,226
3	0,73	631,987	739,565	880,838	1094,746	1446,682
	1,7	667,181	799,718	1018,368	1333,862	2031,994
	2,1	678,413	830,918	1048,570	1449,677	2274,106
4	0,73	630,240	723,840	848,390	1026,605	1269,715
	1,7	649,958	771,763	938,995	1110,720	1535,040



	2,1	656,698	784,493	964,954	1173,120	1646,362
5	0,73	632,736	718,598	826,925	948,480	1224,787
	1,7	648,461	745,056	883,334	1092,749	1417,978
	2,1	643,219	768,019	921,274	1134,931	1489,363

Tabulka 40 Vypočítané stupně izolace materiálu pro jednotlivé vrstvy bavlny v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku při daných okolních teplotách a rychlostech proudění okolního vzduchu

Počet vrstev bavlny	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Stupeň izolace [-]				
		Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]
		20	10	0	-10	-20
1	0,73	0,769	0,641	0,509	0,381	0,239
	1,7	0,718	0,565	0,400	0,256	0,083
	2,1	0,695	0,521	0,341	0,177	0,019
2	0,73	0,792	0,679	0,567	0,443	0,326
	1,7	0,753	0,611	0,474	0,335	0,196
	2,1	0,737	0,590	0,443	0,304	0,157
3	0,73	0,804	0,701	0,585	0,472	0,359
	1,7	0,772	0,642	0,510	0,388	0,258
	2,1	0,760	0,625	0,492	0,359	0,229
4	0,73	0,815	0,714	0,611	0,511	0,410
	1,7	0,793	0,671	0,555	0,459	0,336
	2,1	0,784	0,663	0,539	0,436	0,314
5	0,73	0,820	0,722	0,629	0,537	0,425
	1,7	0,799	0,689	0,583	0,477	0,368
	2,1	0,795	0,680	0,565	0,461	0,349



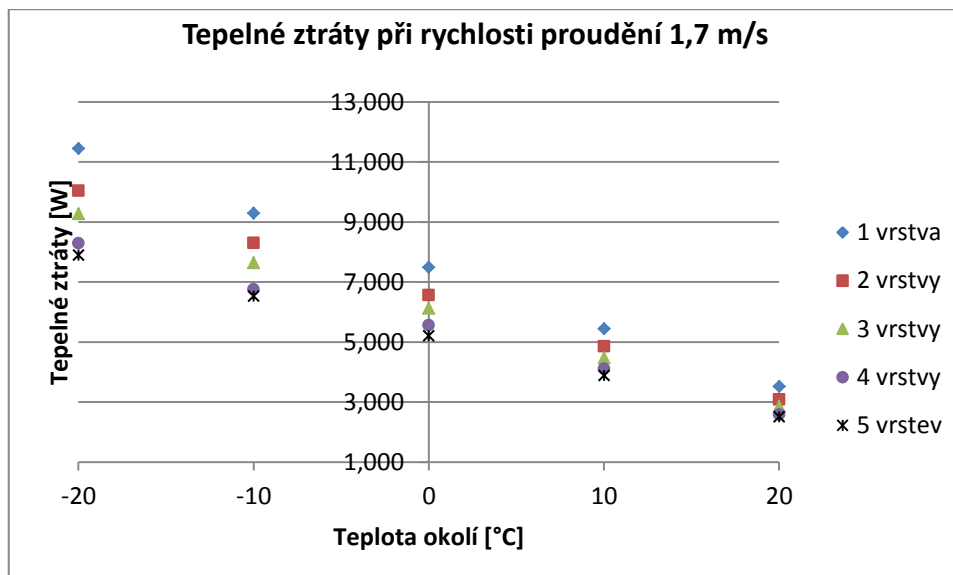
Tabulka 41 Vypočítané hodnoty množství tepla pro zvýšení teploty destičky z 36,0 na 37,0 °C pro různé vrstvy bavlny v případě, že je mezi textilií a zdrojem tepelného toku vzduchová mezera

Počet vrstev bavlny	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Množství tepla pro zvýšení teploty destičky z 36,0 na 37,0 °C [J]				
		Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]
		20	10	0	-10	-20
1	0,73	592,800	645,715	720,845	822,432	940,493
	1,7	581,568	652,704	738,816	856,128	1004,141
	2,1	593,549	655,200	761,779	887,578	1071,034
2	0,73	579,821	650,458	711,859	795,226	914,285
	1,7	581,568	644,717	722,342	818,938	959,962
	2,1	582,816	646,464	727,584	831,667	972,192
3	0,73	584,813	639,475	706,867	796,973	889,574
	1,7	573,331	646,464	718,349	815,942	922,771
	2,1	589,805	647,712	728,832	822,432	936,250

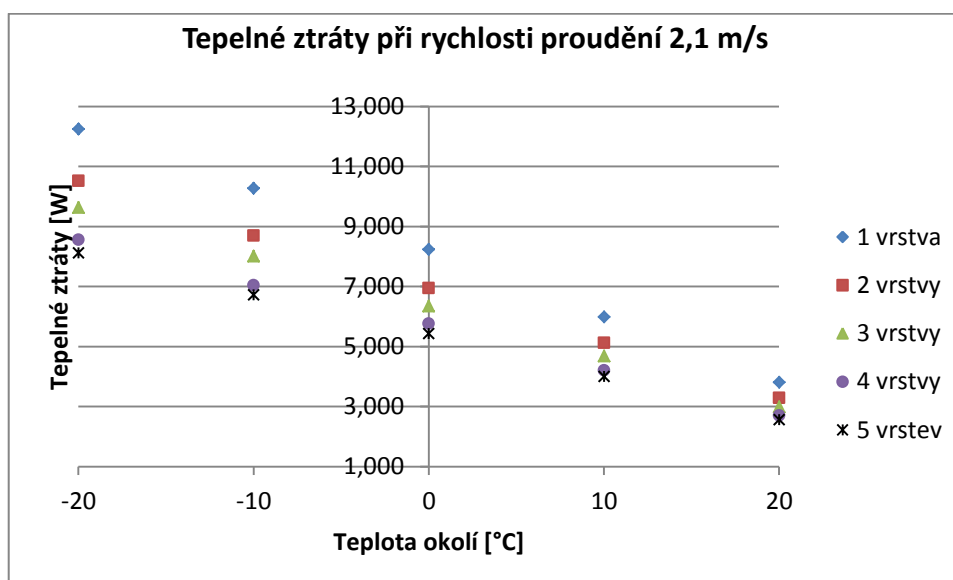
Tabulka 42 Vypočítané stupně izolace materiálu pro jednotlivé vrstvy bavlny v případě, že je mezi textilií a zdrojem tepelného toku vzduchová mezera při daných okolních teplotách a rychlostech proudění okolního vzduchu

Počet vrstev bavlny	Rychlost proudění vzduchu [m/s]	Stupeň izolace [-]				
		Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]	Teplota okolí [°C]
		20	10	0	-10	-20
1	0,73	0,864	0,780	0,701	0,622	0,538
	1,7	0,858	0,769	0,683	0,594	0,506
	2,1	0,854	0,767	0,671	0,577	0,475
2	0,73	0,868	0,787	0,712	0,635	0,558
	1,7	0,864	0,781	0,697	0,617	0,533
	2,1	0,863	0,779	0,693	0,611	0,524

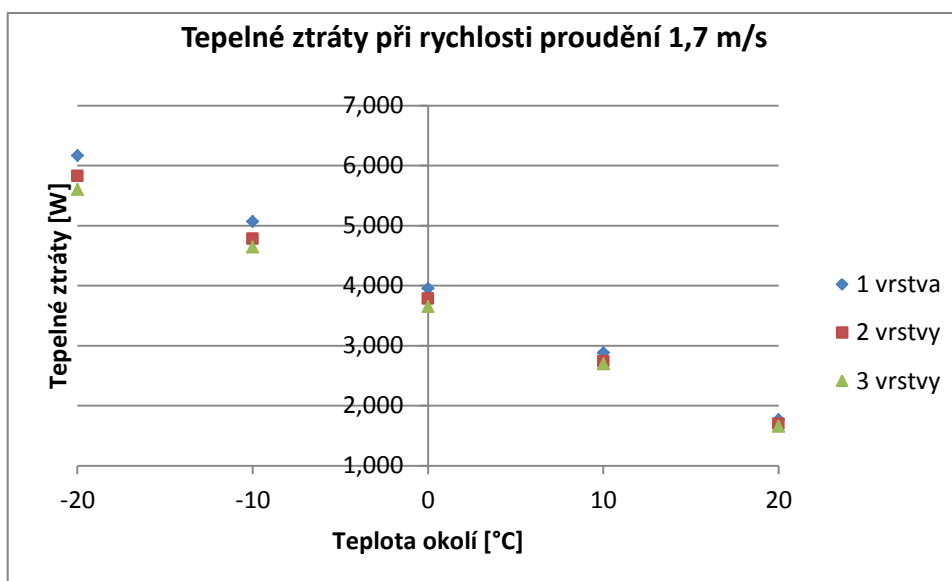
3	0,73	0,869	0,792	0,716	0,639	0,569
	1,7	0,867	0,784	0,707	0,628	0,551
	2,1	0,862	0,783	0,701	0,622	0,544



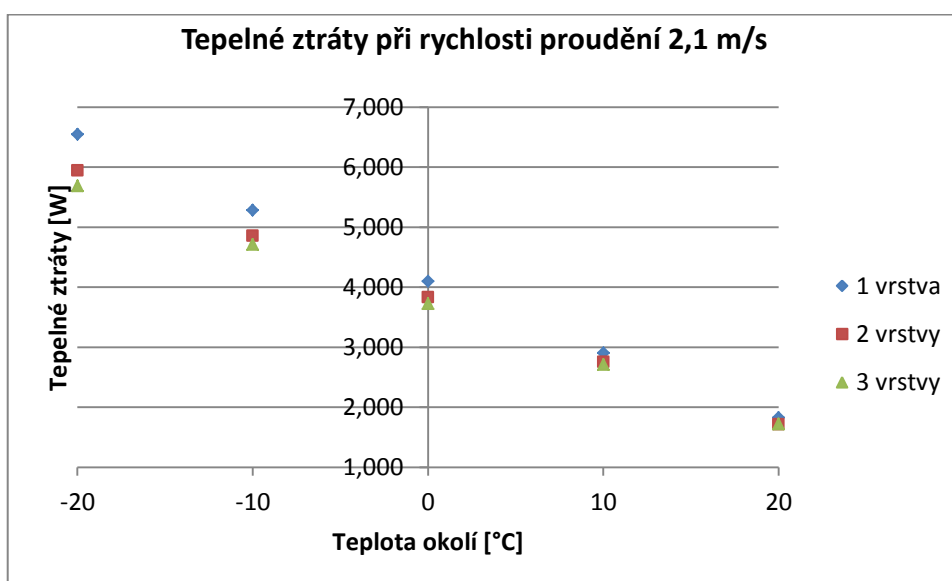
Graf 15 Tepelné ztráty materiálu při rychlosti proudění okolního vzduchu 1,7 m/s, daných teplotách okolního vzduchu, pro jednotlivé vrstvy bavlny za předpokladu, že textilie je v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku



Graf 16 Tepelné ztráty materiálu při rychlosti proudění okolního vzduchu 2,1 m/s, daných teplotách okolního vzduchu, pro jednotlivé vrstvy bavlny za předpokladu, že textilie je v přímém kontaktu se zdrojem tepelného toku



Graf 17 Tepelné ztráty materiálu při rychlosti proudění okolního vzduchu 1,7 m/s, daných teplotách okolního vzduchu, pro jednotlivé vrstvy bavlny za předpokladu, že mezi textilií a zdrojem tepelného toku je vzduchová mezera



Graf 18 Tepelné ztráty materiálu při rychlosti proudění okolního vzduchu 2,1 m/s, daných teplotách okolního vzduchu, pro jednotlivé vrstvy bavlny za předpokladu, že mezi textilií a zdrojem tepelného toku je vzduchová mezera